

МЕДИЈА ЦЕНТАР
ОДБРАНА

Издавач
Медија центар „ОДБРАНА“

Библиотека „Војна књига“
Књига бр. 2072

Директор
пуковник
Стевица С. Карапанџин

Главни уредник
Драгана Марковић

Главни графички уредник
Горан Јањић, дипл. инж.

Ликовно-графички уредник
Слободан Михаиловић

Штампа
Војна штампарија Београд

Тираж
200 примерака

ISBN 978-86-335-0535-2

XLIII Симпозијум о операционим истраживањима

ЗБОРНИК РАДОВА

SYM-OP-IS 2016

Тара, 20–23. септембар 2016.

Уредници:

Александар Илић
Далибор Петровић
Дејан Стојковић

Београд, 2016.

ОРГАНИЗАТОР SYM-OP-IS 2016



**Министарство одбране Републике Србије и
Војска Србије**

СУОРГАНИЗАТОРИ



**Висока грађевинско-геодетска школа
струковних студија, Београд**



Економски факултет, Београд



Економски институт, Београд



Институт "Михајло Пупин", Београд



Математички Институт САНУ, Београд



Математички факултет, Београд



Рударско-геолошки факултет, Београд



Саобраћајни факултет, Београд



Факултет организационих наука, Београд

ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР:

бригадни генерал Слободан Јоксимовић, председник, Управа за стратегијско планирање,
пуковник др Саша Трандафиловић, члан, Управа за буџет,
потпуковник Зоран Мачак МА, секретар, Управа за стратегијско планирање,
потпуковник др Дејан Миленковић, члан, Управа за телекомуникације и информатику (Ј-6) ГШ ВС,
потпуковник др Михајло Зоговић, члан, Управа за односе са јавношћу,
потпуковник мр Миломир Исаиловић, члан, Управа за стратегијско планирање,
потпуковник мр Срђан Димић, члан, Управа за стратегијско планирање,
мајор др Срђан Благојевић, члан, Универзитет одбране,
капетан фрегате мр Ивица Младеновић, члан, Управа за стратегијско планирање,
мајор мр Борко Лепојевић, члан, Управа за односе са јавношћу,
капетан Предраг Александров, члан, ЦКИСИП / УТИ (Ј-6) ГШ ВС,
ВС спец. Радојка Мићовић, члан, Управа за стратегијско планирање,
ВС Марина Дуњић, члан, Управа за стратегијско планирање,
ВС Ивана Цветковић, члан, Управа за стратегијско планирање.

ПРОГРАМСКИ ОДБОР

Илић Александар, председник, Министарство одбране
Петровић Далибор, потпредседник, Министарство одбране
Алексић Вуле, Висока Грађевинско-Геодетска Школа, Београд
Младеновић Ненад, Математички институт САНУ, Београд
Урошевић Драган, Математички Институт САНУ, Београд
Aloise Daniel, Natal University, Brazil
Artiba Abdelhakim, University of Valencia, France
Brimberg Jack, Royal Military College, Kingston, Canada
Caporossi Gilles, HEC Montreal, Canada
Carrizosa Emilio, University of Sevilla, Spain
Crainic Teodor G., University of Quebec, Montreal, Canada
Цветковић Драгош, Математички институт САНУ, Београд
Цвијановић Јанко, Економски Институт, Београд
Ћировић Горан, Висока Грађевинско-Геодетска Школа, Београд
Чангаловић Мирјана, Факултет Организационих Наука, Београд
Давидовић Татјана, Математички институт САНУ, Београд
Димитријевић Бранка, Саобраћајни Факултет, Београд
Duarte Abraham, Universidad Rey Juan Carlos, Spain
Дугошија Ђорђе, Универзитет у Новом Пазару
Ђоровић Бобан, Универзитет одбране, Београд
Eremeev Anton, Omsk State University, Russia
Escudero Laureano, Universidad Miguel Hernández, Spain
Golden Bruce, University of Maryland, United States of America
Hanafi Saïd, University of Valenciennes, France
Hansen Pierre, GERAD, Montréal, Canada
Кратица Јозеф, Математички институт САНУ, Београд
Kochetov Yuri, Novosibirsk, Russia
Кочовић Јелена, Економски факултет, Београд
Ковачевић-Вујчић Вера, Факултет организационих наука, Београд
Labbé Martine, Free university of Brussels, Belgium
Летић Душко, Факултет Техничких Наука, Зрењанин
Кузмановић Марија, Факултет Организационих Наука, Београд
Кутлача Ђуро, Институт Михајло Пупин
Макајић-Николић Драгана, Факултет Организационих Наука, Београд
Мартић Милан, Факултет Организационих Наука, Београд
Melián Batista Belén, University La Laguna, Spain
Месарош Каталин, Економски Факултет, Суботица
Migdalas Athanasios, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Миљановић Игор, Рударско-Геолошки Факултет, Београд
Миловановић Градимир, Математички институт САНУ, Београд
Младеновић Зорица, Економски Факултет, Београд
Moreno-Perez José A., University of La Laguna, Spain
Негјасев Феђа, Саобраћајни Факултет
Огњановић Зоран, Математички Институт САНУ, Београд
Пап Ендре, Универзитет Сингидунум, Београд
Праштало Жељко, Рударски факултет Београд
Papageorgiou Markos, Technical University of Crete, Greece
Pardalos Panagote M., University of Florida, United States of America
Петровић Славица, Економски Факултет, Крагујевац
Радојевић Драган, Институт Михајло Пупин, Београд
Raidl Guinter, Vienna University of Technology, Austria

Salhi Said, University of Kent, United Kingdom
Савић Гордана, Факултет Организационих Наука, Београд
Sevaux Marc, University of Southern Brittany, France
Sifaleras Angelo, University of Macedonia, Greece
Сорак Милош, Економски факултет, Бања Лука
Sörensen Kenneth, University of Antwerp, Belgium
Станић Станко, Економски факултет, Бања Лука
Станојевић Милан, Факултет Организационих Наука, Београд
Станојевић Милорад, Саобраћајни Факултет, Београд
Старчевић Душан, Факултет Организационих Наука, Београд
Стојковић Дејан, Министарство одбране
Сукновић Милија, Факултет Организационих Наука, Београд
Шелмић Милица, Саобраћајни Факултет, Београд
Теодоровић Душан, Саобраћајни Факултет, Београд
Видовић Милорад, Саобраћајни Факултет, Београд
Вујић Слободан, Рударски Институт, Београд
Вујошевић Мирко, Факултет Организационих Наука, Београд
Вукадиновић Катарина, Саобраћајни Факултет, Београд
Zhao Beijing Qihong, University of Aeronautics and Astronautics, China

ПОЧАСНИ ПРОГРАМСКИ ОДБОР

Андрејић Марко, ВА, Београд
Батановић Владан, ИМП, Београд
Бацковић Марко, ЕФ, Београд
Боровић Синиша, ФММСП, Београд
Цветковић Драгош, САНУ, Београд
Чабаркапа Обрад, МО, Београд
Ђорђевић Бранислав, ГФ, Београд
Губеринић Слободан, ИМП, Београд
Крчевинац Слободан, ФОН, Београд
Ковач Митар, МО, Београд
Матејић Властимир, АИНС, Београд
Михаљевић Миодраг МИ, Београд
Миловановић Градимир, САНУ, Ниш
Мучибабић Спасоје, МО, Београд
Николић Илија, ФГМ, Београд
Оприцовић Серафим, ГФ, Београд
Петровић Радивој, ИМП, АИНС, Београд
Ракић Милан, ИМП, Београд
Тодоровић Јован, АИНС, Београд
Вујић Слободан, РИ, Београд
Вукадиновић Светозар, СФ, Београд
Вулета Јово, ЕФ, Београд
Зечевић Томислав, ЕФ, Београд

НОСИОЦИ ПОВЕЉЕ SYM-OP-IS
за заслуге у развоју операционих истраживања

1. Краут Божидар (1983)
2. Владнал Алојзиј (1983)
3. Марковић Драгослав (1983)
4. Ивановић Бранислав (1984)
5. Мартић Љубомир (1984)
6. Петровић Радивој (1984)
7. Петрић Јован (1988)
8. Злобец Сањо (1990)
9. Станојевић Радослав (1991)
10. Вукадиновић Светозар (1993)
11. Крчевинац Слободан (1993)
12. Губеринић Слободан (1993)
13. Вулета Јово (1993)
14. Ковачевић – Вујчић Вера (1998)
15. Теодоровић Душан (1998)
16. Матејић Властимир (2000)
17. Вујошевић Марко (2000)
18. Боровић Синиша (2001)
19. Зечевић Томислав (2001)
20. Вујић Слободан (2003)
21. Радојевић Драган (2006)
22. Мирјана Чангаловић (2010)
23. Ненад Младеновић (2010)
24. Спасоје Мучибабић (2010)
25. Мартић Милан (2012)
26. Драгош Цветковић (2013)

ПРЕДГОВОР

SYM-OP-IS је национални симпозијум о операционим истраживањима са међународним учешћем, који се у континуитету одржава од 1974. године. Координатор организације 43. SYM-OP-IS је Министарство одбране Републике Србије.

Операциона истраживања као интердисциплинарна наука, користећи математичке и статистичке моделе, тежи проналажењу оптималних решења за анализиране проблеме. Програм SYM-OP-IS 2016 обухвата широко поље примене операционих истраживања. Зборник радова SYM-OP-IS 2016 садржи укупно 135 радова, подељених у 26 секција. Зборник садржи и један рад учесника по позиву која су штампана на почетку Зборника, док су остале секције и радови поређани по азбучном реду. Сви радови, осим рада по позиву, рецензирани су на основу тематске усклађености од стране рецензента које је именовано Програмски одбор SYM-OP-IS 2016.

Разноврсност тема и секција, уз наглашену заједничку оријентацију на операциона истраживања, представља својеврстан позив свим истраживачима, научним и образовним организацијама да нам се придруже у наредним годинама. Уверени смо да време примењене математике тек долази.

Програмски одбор SYM-OP-IS 2016 одржао је две седнице између два симпозијума, при чему је дао значајан допринос унапређењу културе заједничког рада. Захваљујемо свим члановима Програмског одбора, посебно професору др Вери Ковачевић-Вујчић, научном саветнику др Драгану Радојевићу и професору др Мирку Вујошевићу који су припремили предлог новог правилника о додели повеље за заслуге у развоју операционих истраживања у Србији.

Реализацију SYM-OP-IS 2016 омогућили су, пре свих, аутори и рецензенти радова, на чему им се, у име Програмског и Организационог одбора, посебно захваљујемо.

Учинили смо кораке да SYM-OP-IS 2016 за разлику од претходног периода, привуче значајнију пажњу Министарства просвете, науке и технолошког развоја и верујемо да ће симпозијум у наредним годинама имати конкретну подршку ресорног министарства.

Уредници:
Александар Илић
Далибор Петровић
Дејан Стојковић

САДРЖАЈ

ПРЕДАВАЧ ПО ПОЗИВУ

<i>Vladimir Kozin</i> FROM OFFENSIVE TO DEFENSIVE NUCLEAR DETERRENCE THAT THREATENS NO ONE, AND TO NO-FIRST-USE OF NUCLEAR ARMS.....	21
--	----

ЕКОЛОГИЈА

<i>Angela Fajsi, Slobodan Morača</i> A LIVING LAB AS AN OPEN INNOVATION ECOSYSTEM.....	27
<i>Ана Катић, Бисера Андрић Гушвац</i> МОДЕЛ ОПТИМИЗАЦИЈЕ СМАЊЕЊА ЗАГАЂЕНОСТИ ВОДНИХ РЕСУРСА ЈЕЗЕРА ВРУТЦИ.....	31
<i>Душан Рајић, Обрад Чабаркана, Желько Камберовић</i> РЕШАВАЊЕ ЕКОЛОШКИХ ПРОБЛЕМА ПОМОЋУ ТЕОРИЈЕ РЕШАВАЊА ИНВЕНТИВНИХ ЗАДАТАКА.....	37
<i>Јелена Андреја Радаковић, Недељко Живковић, Наташа Петровић</i> ТОТАЛНИ МЕНАЏМЕНТ КВАЛИТЕТОМ И ЕКОЛОШКИ МЕНАЏМЕНТ.....	41
<i>Кристина Станојевић, Гордана Савић, Наташа Петровић</i> ИЗБОР ЛОКАЦИЈЕ ЗА ИНСИНЕРАЦИЈУ МЕДИЦИНСКОГ ОТПАДА.....	45
<i>Марко Ћировић, Наташа Петровић, Драгана Макајић Николић</i> ПРОЦЕНА РИЗИКА У ЕКОЛОШКОМ МЕНАЏМЕНТУ.....	49
<i>Татјана Боројевић, Матјаж Малетич</i> УЛОГА МЛАДИХ У ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ.....	53

ЕКОНОМСКИ МОДЕЛИ И ЕКОНОМЕТРИЈА

<i>Весна Д. Јаблановић</i> ХАОТИЧНИ МОДЕЛ РАСТА КАПИТАЛА.....	59
<i>Катарина Кукић, Јелена Станојевић</i> АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ РАВНОТЕЖНЕ ЦЕНЕ ЈЕДНОГ МОДЕЛА ПОНУДЕ И ТРАЖЊЕ.....	63

ЕЛЕКТРОНСКО ПОСЛОВАЊЕ

<i>Данијела Стојановић, Зорица Богдановић, Наталија Недељковић</i> УПОТРЕБА МОБИЛНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У СРЕДЊОШКОЛСКОМ ОБРАЗОВАЊУ.....	71
<i>Миљана Маринковић Новарлић, Растко Мартаћ</i> ВЕБ ПОРТАЛ ЗА РАЗМЕНУ ЗНАЊА ЗАСНОВАН НА ПРОШИРЕНОМ МОДЕЛУ ЕЛЕКТРОНСКОГ ПОСЛОВАЊА.....	75
<i>Соња Лековић</i> МУЛТИКАНАЛНА КОНКУРЕНЦИЈА У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА МАЛОПРОДАЈНОГ ТРЖИШТА.....	79
<i>Марина Јовановић Миленковић, Јованка Вукмировић, Дејан Миленковић</i> ТЕЛЕМЕДИЦИНА: НЕКАД И САДСаопштење.....	83
<i>Ненад Бадовинац</i> ЕЛЕКТРОНСКО ПОСЛОВАЊЕ У АУТО КУЋАМА УПРАВЉАЊЕ МРТВИМ ЗАЛИХАМАСаопштење.....	85

ЕНЕРГЕТИКА

<i>Владимир Катанчевић, Милан Канкараш, Блажо Радовић</i> ПРИМЕНА ПРОМЕТНЕЕ II I CRITIC МЕТОДА ЗА ПРИОРИТИЗАЦИЈУ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ.....	89
<i>Сандра Једнак, Драгана Крагуљ</i> УЛОГА ОДРЖИВЕ ЕНЕРГИЈЕ У ОСТВАРИВАЊУ РАЗВОЈА.....	93

ФИНАНСИЈЕ И БАНКАРСТВО

<i>Ана Крстић, Предраг Мимовић, Милена Јакшић</i> ДЕАХП МЕТОД ЗА ВРЕДНОВАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ У БАНКАРСКОМ СЕКТОРУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ.....	99
<i>Ирена Јанковић</i> ТЕСТИРАЊЕ ФАМА-ФРЕНЧ ТРОФАКТОРСКОГ МОДЕЛА НА ТРЖИШТУ КАПИТАЛА СРБИЈЕ	105
<i>Јелена Кочовић, Благоје Пауновић, Марија Јововић</i> ЗНАЧАЈ СОПСТВЕНЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ПРИ УТВРЂИВАЊУ СОЛВЕНТНОСТИ ОСИГУРАВАЈУЋИХ КОМПАНИЈА	109
<i>Марко Бацковић Зоран Поповић, Младен Стаменковић, Вељко Бојовић</i> АНАЛИЗА ЕФИКАСНОСТИ ЈАВНЕ ПОТРОШЊЕ У ЗЕМЉАМА ИСТОЧНЕ И ЈУГОИСТОЧНЕ ЕВРОПЕ И БАЛТИЧКИХ ЗЕМАЉА ПРИМЕНОМ ДЕА МОДЕЛА	113
<i>Милош Божовић</i> КОНТАНГО НА ТРЖИШТУ СИРОВЕ НАФТЕ	119
<i>Мирела Митрашевић, Дејан Трифуновић, Милица Кочовић</i> ДОПРИНОС УПРАВЉАЊА РИЗИЦИМА УСПЕШНОСТИ ПОСЛОВАЊА ОСИГУРАВАЈУЋИХ КОМПАНИЈА	123
<i>Мирослав Тодоровић, Маја Милосављевић</i> КВАНТИТАТИВНИ РЕВИЗИЈСКИ АЛАТИ ЗА ОТКРИВАЊЕ ОБМАЊУЈУЋЕГ ФИНАНСИЈСКОГ ИЗВЕШТАВАЊА.....	127

ГЕОИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ

<i>Александар Илић, Младен Ђурић, Младен Амовић</i> ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ КАТАСТРА НЕПОКРЕТНОСТИ КАО ЈЕДИНСТВЕНЕ ЕВИДЕНЦИЈЕ О НЕПОКРЕТНОСТИМА И ПРАВИМА НА НЕПОКРЕТНОСТИМА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ	133
<i>Александар Илић, Младен Ђурић, Младен Амовић</i> ПРИМЕНА TOPSIS МЕТОДЕ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА КАТАСТАРСКЕ ОПШТИНЕ ЗА ИЗЛАГАЊЕ НА ЈАВНИ УВИД ПОДАТАКА О НЕПОКРЕТНОСТИМА И УТВРЂИВАЊЕ ПРАВА НА НЕПОКРЕТНОСТИМА	137
<i>Александар Павловић, Виктор Марковић, Саша Бакрач</i> ТЕХНОЛОШКИ ОКВИР ЗА ИЗРАДУ ДТК25 У ВОЈНОГЕОГРАФСКОМ ИНСТИТУТУ	141
<i>Дарко Лукић, Љубомир Гиговић</i> УПОТРЕБА ГИС ВОЈСКЕ СРБИЈЕ У АНАЛИЗИ ПУТНЕ МРЕЖЕ	145
<i>Дејан Р. Борђевић, Златан Миловић</i> ПРИМЕНА ОДЛУЧИВАЊА У ГИС УСЛУГАМА	149
<i>Драгољуб Секуловић, Младен Ђурић, Дејан Васић</i> АНАЛИЗА УНУТРАШЊЕ ПОУЗДАНОСТИ ОСНОВНЕ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ.....	153
<i>Златан Миловић, Дејан Борђевић, Синиша Дробњак</i> АУТОМАТСКА ЕКСТРАКЦИЈА ДИГИТАЛНОГ МОДЕЛА ПОВРШИ САВРЕМЕНИМ МЕТОДАМА.....	157
<i>Љубомир Гиговић, Миодраг Регодић, Дарко Лукић</i> УПОТРЕБА GIS-МСДА АНАЛИЗЕ У ЦИЉУ ИЗРАДЕ МАПЕ РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА.....	161
<i>Миодраг Костић, Радоје Банковић, Славиша Татомировић</i> ОБАВЕШТАЈНА АНАЛИЗА ДИГИТАЛНО-МОДЕЛОВАНИХ ПОДАТАКА О ПРОСТОРУ	165
<i>Миодраг Регодић, Сања Јаћимовић, Раденко Вишињић, Наташа Дујаковић</i> ВИСИНСКА ПРЕДСТАВА ТЕРЕНА НА ОСНОВУ АЕРО-ФОТО СНИМАЊА	169
<i>Миодраг Регодић, Сања Јаћимовић, Славко Васиљевић, Младен Амовић</i> ПРОМЕНЕ СПЕКТРАЛНИХ ВРЕДНОСТИ ДИГИТАЛНИХ LIDAR СНИМАКА.....	173
<i>Никола Бабић, Синиша Дробњак, Радоје Банковић</i> ТЕРЕНСКА ПРОВЕРА И ДОПУНА САДРЖАЈА ТОПОГРАФСКЕ КАРТЕ РАЗМЕРЕ 1:25000	177
<i>Сања Јаћимовић, Миодраг Регодић, Љубомир Гиговић</i> ОБРАДА САТЕЛИТСКИХ СНИМАКА У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ MATLAB	181

ГРАЂЕВИНАРСТВО

<i>Александар Костић, Слободан Станаревић</i> УПРАВЉАЊЕ ПОДАЦИМА ЗА ПРОЦЕНУ ШТЕТЕ ПОСЛЕ ВРЕМЕНСКИХ НЕПОГОДА	187
<i>Горан Ђировић, Снежана Митровић, Драган Николић</i> ОПТИМИЗАЦИЈА У ПРОЦЕСУ ПРОЈЕКТОВАЊА ЗГРАДА, ДЕФИНИЦИЈА ПРОБЛЕМА	191
<i>Дарија Гајић, Александар Јанковић, Љубиша Прерадовић, Биљана Антуновић</i> АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА У ВРТИЋУ КАО ФИЗИЧКОГ ПАРАМЕТРА ТОПЛОТНОГ КОМФОРА	195
<i>Јелена Пралица, Зора Алексић, Вуле Алексић</i> ИЗБОР ЛОКАЦИЈЕ ЗА НАЦИОНАЛНИ СТАДИОН У СРБИЈИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ ОДЛУЧИВАЊЕМ	201
<i>Љубо Марковић, Љиљана Милић Марковић, Велимир Дутина, Миљан Ковачевић</i> ПРИМЕНА АХП МЕТОДЕ КОД ПРОЈЕКТОВАЊА ПУТЕВА НА НИВОУ ГЕНЕРАЛНОГ ПРОЈЕКТА	207
<i>Мирослав Марчета, Славољуб Томић</i> ПРИЛОГ ИСПИТИВАЊУ ТАЧНОСТИ 3Д-МОДЕЛА ГРАЂЕВИНСКИХ ОБЈЕКТА ДОБИЈЕНИХ ФОТОГРАМЕТРИЈСКОМ МЕТОДОМ	213
<i>Предраг Вулетић</i> СЕНЗОРСКИ МОНИТОРИНГ ЖЕЛЕЗНИЧКИХ МОСТОВА	217
<i>Слободан Панџић, Вуле Алексић, Славољуб Томић, Јелена Панџић</i> ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ ПРИ ИЗБОРУ ОПТИМАЛНЕ ГЕОДЕТСКЕ ОПРЕМЕ ЗА СНИМАЊЕ ДЕПОНИЈА ГРАЂЕВИНСКОГ МАТЕРИЈАЛА ПРИМЕНОМ МЕТОДА VIKOR И ELECTRE	221

ГРАФОВИ И МРЕЖЕ

<i>Мотсило Вјелица</i> COMBINATORIAL FLOWS ON EDGES OF HEXAHEDRON	227
--	-----

ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ

<i>Zoran Nešić, Miroslav Radojčić, Jasmina Vesić Vasović</i> SOME CONSIDERATIONS ON THE IMPLEMENTATION OF TECHNIQUES FOR DATA ANALYSIS IN BUSINESS SYSTEMS	233
<i>Јасна Солдић-Алексић, Биљана Чхропеос Красавац</i> САВРЕМЕНИ АСПЕКТИ ДИГИТАЛНЕ ЕКОНОМИЈЕ: УТИЦАЈ ФЕНОМЕНА BIG DATA	237
<i>Слађана Јанковић, Снежана Младеновић, Душан Младеновић, Ана Узелац, Стефан Здравковић</i> КОРИШЋЕЊЕ АРАСНЕ НАДООР BIG DATA ПЛАТФОРМЕ У АНАЛИЗИ СЕНЗОРСКИХ ПОДАТАКА У САОБРАЋАЈУ	243
<i>Тамара Живковић, Миодраг Живковић</i> ТЕСТИРАЊЕ МОБИЛНИХ АПЛИКАЦИЈА	247
<i>Дејан Миленковић</i> ПРИКАЗ ФАЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ИНФОРМАЦИОНОГ СИСТЕМА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ – Саопштење	251

ИСТРАЖИВАЊЕ И РАЗВОЈ

<i>Ђуро Кутлача, Дијана Штрбас, Душица Семенченко, Мирјана Пешић, Виктор Недовић</i> STRATEGIC RESEARCH AND INNOVATION AGENDA FOR TRADITIONAL FOOD INDUSTRY: CASE OF TRADITIONAL SWEET FRUIT SECTOR IN SERBIA	255
<i>Лазар Живковић, Ђуро Кутлача</i> МАПИРАЊЕ КЉУЧНИХ ИСТРАЖИВАЧКИХ ИНСТИТУЦИЈА ИЗ ОБЛАСТИ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВА САРАДЊА СА ДРУГИМ ИНСТИТУЦИЈАМА У СРБИЈИ У ПЕРИОДУ ОД 1996-2015	259
<i>Обрад Чабаркана Душан Рајић</i> РЕШАВАЊЕ ТЕХНИЧКИХ ПРОБЛЕМА ПРИМЕНОМ ТЕОРИЈЕ РЕШАВАЊА ИНВЕНТИВНИХ ЗАДАТАКА	263

ИСТРАЖИВАЊЕ ПОДАТАКА

- Sonja Isljamović, Srđan Lalić*
PREDICTING STUDENTS' ENROLLMENT SUCCESS ON FACULTY - EDUCATIONAL DATA MINING APPROACH..... 269
- Оливера Јанковић*
ДАТА МИНИНГ: ДЕТЕКЦИЈА ЕКСТРЕМНИХ ВРИЈЕДНОСТИ АУТЛАЈЕРА И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА ПЕРФОРМАНСЕ КЛАСИФИКАЦИЈЕ 273
- Оливера Јанковић*
ДАТА МИНИНГ: ДЕТЕКЦИЈА АУТЛАЈЕРА У КОНТЕКСТУ СТРИМА ПОДАТАКА 277

КОМБИНАТОРНА ОПТИМИЗАЦИЈА

- Dragoš Cvetković, Mirjana Čangalović, Zorica Dražić, Vera Kovačević-Vujčić*
SOME NEW COMPLEXITY INDICES FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM..... 283
- Olivera Janković*
SOLVING THE UNCAPACITATED R-ALLOCATION P-HUB MAXIMAL COVERING PROBLEM USING GENETIC ALGORITHM 287
- Perica Trajkov, Zorica Stanimirović*
VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE UNCAPACITATED SINGLE-SOURCE MULTI-PRODUCT FACILITY LOCATION PROBLEM 293
- Tatjana Jakšić Krüger, Tatjana Davidović*
EMPIRICAL ANALYSIS OF THE BEE COLONY OPTIMIZATION METHOD ON 3-SAT PROBLEM 297

ЛОГИСТИКА

- Milorad Vidović, Branislava Ratković, Nenad Bjelić, Dražen Popović*
HYBRID HEURISTICS FOR THE TWO LEVEL LRP IN RECYCLABLES COLLECTION 305
- Željko Stević, Ilija Tanackov, Marko Vasiljević, Slavko Vesković*
EVALUATION IN LOGISTICS USING COMBINED AHP AND EDAS METHOD 309
- Братислав Лазуић, Гордана Радивојевић, Горана Шормаз*
СИМУЛАЦИЈА ПРЕТОВАРНИХ ПРОЦЕСА НА CROSS DOCK ТЕРМИНАЛУ 315
- Драгана Дреновац, Милорад Видовић*
ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА ТРАНСПОРТА ШЕЋЕРНЕ РЕПЕ ДО ШЕЋЕРАНЕ 319
- Милан Андрејић, Милорад Килибарда*
УНАПРЕЂЕЊЕ ЕФИКАСНОСТИ ЛОГИСТИЧКИХ ПРОЦЕСА ДИСТРИБУЦИЈЕ ПРОИЗВОДА 323
- Милорад Килибарда, Милан Андрејић*
АНАЛИЗА КВАЛИТЕТА ЛОГИСТИЧКЕ УСЛУГЕ ПРИМЕНОМ ФАЗИ ЗОНЕ ТОЛЕРАНЦИЈЕ 329
- Слободан Зечевић, Снежана Тадић, Младен Крстић*
ИЗБОР СЦЕНАРИЈА ЛОГИСТИЧКОГ СИСТЕМА ЦЕНТРАЛНЕ ПОСЛОВНЕ ЗОНЕ ПРИМЕНОМ ФАЗИ АНП МЕТОДЕ 333
- Снежана Тадић, Слободан Зечевић, Младен Крстић*
ЛОЦИРАЊЕ ТЕРМИНАЛА CITY ЛОГИСТИКЕ ПРИМЕНОМ ФАЗИ ДАНП МЕТОДЕ 337

МАТЕМАТИЧКО ПРОГРАМИРАЊЕ

- Danijela Đorić, Rachid Benmansour, Rita Macedo, Nenad Mladenović, Dragan Urošević*
PREVENTIVE RAILWAY MAINTENANCE SCHEDULING PROBLEM BASED ON VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH HEURISTIC 343
- Jelena Jovanović, Tatjana Davidović*
A NEW FORMULATION FOR MINIMUM COST HYBRID BERTH ALOCATION PROBLEM..... 349
- Mirjana Čangalović, Jozef Kratica, Vera Kovačević-Vujčić*
A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE K-METRIC DIMENSION PROBLEM 353
- Predrag S. Stanimirović, Nebojša V. Stojković*
CONCLUDING COMMENTS ON THE MINIMAL ANGLES METHOD 357

<i>Tatjana Davidović, Jasmina Lazić, Vladislav Maraš</i> MIXED FORMULATION VNS FOR BARGE ROUTING AND SCHEDULING.....	361
<i>Борђе Дугошија, Александар Савић</i> FOURIER-MOTZKIN-ОВА МЕТОДА ЕЛИМИНАЦИЈЕ ЗА СИСТЕМЕ СТРОГИХ И НЕСТРОГИХ ЛИНЕАРНИХ НЕЈЕДНАЧИНА.....	365
<i>Јања Митић, Бисера Андрић Гушавац, Милена Поповић, Ана Николић</i> СТРАТЕШКО УПРАВЉАЊЕ ШУМСКИМ БОГАТСТВОМ ПРИМЕНОМ МАТЕМАТИЧКОГ ПРОГРАМИРАЊА.....	371

МЕКО РАЧУНАРСТВО

<i>Bogdana Stanojević, Milan Stanojević</i> PARAMETRIC ANALYSIS FOR FINDING A FUZZY SET SOLUTION TO A CLASS OF FUZZY LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS.....	377
<i>Dusko Letic, Branko Davidović, Snežana Vranješ, Jelena Maletić</i> THE DERIVATIONS OF ARCHIMEDES' FUNCTION OF THE CYLINDRICAL-SPHERICAL HYPERINSERT	381
<i>Marijana Jovanović</i> ANYLISIS OF IOT SECURITY ASPECTS	385
<i>Драган Радојевић</i> БУЛОВСКИ КОНЗИСТЕНТНЕ ФАЗИ РЕЛАЦИЈЕ.....	389
<i>Невена Вранић, Ивана Драговић, Ана Поледица, Александар Ракичевић</i> ПРИМЕНА АДАПТИВНОГ НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА У ФИНАНСИЈАМА	393
<i>Рајко. Буквић, Мирчета Вемић</i> МАРКОВЉЕВИ ЛАНЦИ И ПРОБЛЕМ ОДРЕЂИВАЊА РАСПОРЕДА СЛОВА НА ТАСТАТУРИ СРПСКЕ ЋИРИЛИЦЕ	397
<i>Сања Живанчевић, Драгана Марковић, Павле Милошевић, Александар Ракићевић, Братислав Петровић</i> ИНТУИЦИОНИСТИЧКО ФАЗИ ХИЈЕРАРХИЈСКО КЛАСТЕРОВАЊЕ: ПРИМЕР СРПСКИХ СРЕДЊИХ ПРЕДУЗЕЋА	401
<i>Татјана Давидов, Саша Бошњак</i> АНАЛИЗА МЕТОДОЛОГИЈА У РАЗВОЈУ СОФТВЕРСКИХ РЕШЕЊА	405

МЕНАџМЕНТ

<i>Арсен Лончар, Марија Кузмановић</i> АНАЛИЗА СТРАТЕШКИХ ИНТЕРАКЦИЈА У КИНЕМАТОГРАФСКИМ ОСТВАРЕЊИМА ПРИМЕНОМ ТЕОРИЈЕ ИГАРА	411
<i>Веско Луковац, Драган Памучар, Милена Поповић</i> FUZZY DELPHI ПРИСТУП ИЗБОРУ КРИТЕРИЈУМА ЗА ОДАБИР ПРОЦЕЊИВАЧА ЗА ПРОЦЕНУ ПЕРФОРМАНСИ ВОЗАЧА ВОЈНИХ МОТОРНИХ ВОЗИЛА	415
<i>Дејана Златановић</i> МЕТОДОЛОГИЈА СИНЕРГИЈСКИ ИНТЕГРИСАНОГ ТИМА – СИСТЕМСКИ ПРИЛАЗ ГРУПНОМ ОДЛУЧИВАЊУ	419
<i>Јелена Кончар, Зита Петровић Катаи</i> СТРАТЕГИЈСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ ГЛОБАЛНОГ МУЛТИКАНАЛНОГ ТРЖИШТА МАЛОПРОДАВАЦА	423
<i>Маја Хаџиахметовић, Миња Мариновић, Драгана Макајић Николић</i> ОПТИМАЛАН ПЛАН РАСПОРЕЂИВАЊА РАДНИКА СА РОТИРАЊЕМ ЛОКАЦИЈА И ПОСЛОВА	427
<i>Милан Мартић, Тијана Југовић, Милица Костић-Станковић</i> УНАПРЕЂЕЊЕ МАЛОГ И СРЕДЊЕГ ПРЕДУЗЕТНИШТВА КРОЗ СТРАТЕГИЈУ ДИРЕКТНОГ МАРКЕТИНГА.....	431
<i>Петар Павловић, Драгана Макајић-Николић, Мирко Вујошевић, Данијел Чабаркапа</i> НОВА ТРОШКОВНА МЕРА ЗНАЧАЈНОСТИ	435
<i>Раденко Марић, Горан Вукмировић</i> ИНДИКАТОРИ ПОСЛОВНЕ ОДГОВОРНОСТИ У МАЛОПРОДАЈИ ХРАНЕ	439

<i>Дејан Миленковић, Марина Јовановић Миленковић, Драгољуб Симоновић</i> СИНЕРГИЈА УПРАВЉАЊА ДОКУМЕНТИМА И УПРАВЉАЊА ПОСЛОВНИМ ПРОЦЕСИМА Саопштење.....	443
---	-----

<i>Иван Милојевић, Александар Милетић</i> ПРИМЕНА СТРАТЕГИЈСКОГ БИЛАНСА ЗА ФОРМИРАЊЕ СКАЛЕ РЕЛАТИВНОГ ЗНАЧАЈА КОД АНАЛИЗЕ КАПИТАЛНЕ СТРУКТУРЕ Саопштење.....	445
--	-----

ПОСЛОВНА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА

<i>Miroslav Hudec</i> EXAMINING QUESTIONNAIRES BY FUZZY LOGIC APPROACHES	449
---	-----

<i>Вишња Истрат, Дајана Матовић</i> ПРОЈЕКАТ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ АСОЦИЈАТИВНИХ ПРАВИЛА ПОМОЋУ СОФТВЕРА РАПИДМИНЕР	453
--	-----

<i>Зоран Ракићевић, Милан Станојевић</i> ПРАВОВРЕМЕНО РАСПОРЕЂИВАЊЕ У ЈОВ ШНОР ПРОБЛЕМУ: ПРИСТУП ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ	457
---	-----

<i>Јасмина Новаковић, Алемпије Вељовић, Лидија Пауновић, Иван Том</i> ПРИМЕНА КЛАСИФИКАЦИЈЕ ЗАСНОВАНЕ НА ИНСТАНЦАМА СА МЕТОДОМ ПРЕТХОДНОГ УЧЕЊА	461
---	-----

<i>Милан Мартић, Милица Костић-Станковић, Дејана Милошевић</i> ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ ДИНАМИКЕ УГОВАРАЊА КУЛТУРНЕ РАЗМЕНЕ СТУДЕНАТА	465
--	-----

<i>Оливера Грљевић, Зита Бошњак, Lehel Nyers</i> КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ЗАДОВОЉСТВА СТУДЕНАТА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ.....	469
--	-----

ПРИМЕНА ОИ У ОДБРАНИ

<i>Lidija Georgieva, Toni Naumovski, Violeta Cvetkoska</i> DEA APPLICATIONS IN THE DEFENSE SECTOR	475
--	-----

<i>Lidija Georgieva, Toni Naumovski, Violeta Cvetkoska</i> MEASURING THE EFFICIENCY OF PARTICIPATING COUNTRIES IN NATO-LED MISSION IN AFGHANISTAN, ISAF: NON-PARAMETRIC APPROACH	479
--	-----

<i>Nebojsa Nikolic</i> RENEGING QUEUES IMPACT ON DEVELOPMENT OF LAWSON'S MODEL OF COMMAND AND CONTROL PROCESSES	483
---	-----

<i>Pavel Bučka, Rastislav Kazanský, Pavel Nečas</i> DECISION SUPPORT SYSTEM IN ASYMMETRIC WARFARE	487
--	-----

<i>Биљана Стојковић</i> РОДНО ОДГОВОРНО БУЏЕТИРАЊЕ У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ	491
--	-----

<i>Божидар Форџа, Драгољуб Секуловић, Зоран Мачак</i> БЕЗБЕДНОСНО ОКРУЖЕЊЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ – SWOT АНАЛИЗА И TOWS МАТРИЦЕ.....	495
--	-----

<i>Владан Нешић, Марко Богатовић, Милорад Станојевић</i> ИЗБЕГАВАЊЕ ВАЗДУХОПЛОВНИХ КОНФЛИКАТА СИМУЛАЦИЈОМ ПЛАНОВА ЛЕТЕЊА.....	499
--	-----

<i>Горан Радовановић, Самед Каровић</i> ОПТИМИЗАЦИЈА ИНСПЕКЦИЈЕ ТОКОМ ИНСПЕКЦИЈСКОГ НАДЗОРА ОПЕРАТИВНИХ СПОСОБНОСТИ ЈЕДИНИЦА ВОЈСКЕ СРБИЈЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ РАСПОРЕЂИВАЊА	503
--	-----

<i>Иван Петровић, Милан Канкараш, Ивана Цветковић</i> ПРОГНОЗА УВЕЋАЊА МАТЕМАТИЧКОГ ОЧЕКИВАЊА БРОЈА УНИШТЕНИХ ВАЗДУХОПЛОВА УГРАДЊОМ ТЕРМОВИЗИЈСКЕ КАМЕРЕ НА РАКЕТНОМ СИСТЕМУ „КУБ-М”	509
--	-----

<i>Коста Велимировић, Љиљана Гајић-Крстајић, Немања Велимировић</i> ЕЛЕКТРИЧНА БЕСПИЛОТНА ЛЕТЕЛИЦА - ОДРЕЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА ОПТИМАЛНЕ ЕЛИСЕ.....	513
---	-----

<i>Милан Канкараш, Иван Петровић, Срђан Димић</i> ПРОЦЕНА СПОСОБНОСТИ СИСТЕМА ОДБРАНЕ.....	517
<i>Милан Михајловић, Иван Милојевић, Снежана Крстић</i> МИКРОЕКОНОМСКА АНАЛИЗА КОНЦЕНТАРЦИЈЕ ПОНУДЕ ГРАНЕ ЗА ЕФИКАСНОСТ НАБАВКИ У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ.....	521
<i>Младен Костић, Љубомир Дуловић</i> ПРИМЕНА МЕТОДЕ ТРАНСПОРТНОГ ПРОБЛЕМА У ОПТИМИЗАЦИЈИ СНАБДЕВАЊА У ЛОГИСТИЧКОЈ ПОДРШЦИ ОРУЖАНИХ СНАГА.....	525
<i>Срђан Димић, Влада Митић, Милош Дурковић</i> ИЗБОР МОДЕЛА СТРАТЕГИЈСКОГ УПРАВЉАЊА ТРАНСПОРТОМ ПРИМЕНОМ FUZZY TOPSIS МЕТОДЕ.....	529

РУДАРСТВО И ГЕОЛОГИЈА

<i>Милица Ивић, Дејан Ивезић</i> ПРИМЕНА МЕТОДА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА У ПРОЦЕСУ ИЗБОРА РОТОРНИХ БАГЕРА ЗА РЕМОНТ.....	535
<i>Снежана Кирић, Милорад Пантелић, Игор Миљановић</i> САВРЕМЕНИ ПРИСТУПИ У УПРАВЉАЊУ РИЗИКОМ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА.....	539

САОБРАЋАЈ, ТРАНСПОРТ И КОМУНИКАЦИЈЕ

<i>Fedja Netjasov</i> AN OVERVIEW OF SAFETY THINKING AND ACCIDENT MODELING APPROACHES IN AIR TRANSPORT.....	545
<i>Hana Stefanovic, Verica Vasiljevic</i> SIMULATION MODEL FOR PACKET LOSS CORRECTION IN VOIP SYSTEMS.....	549
<i>Nikola Ivanov, Fedja Netjasov</i> BINARY ASSIGNMENT OPTIMIZATION-BASED MODEL FOR TACTICAL AIR TRAFFIC FLOW MANAGEMENT SLOT ALLOCATION.....	553
<i>Бојана Мирковић</i> AIRPORT APRON SIZE AND STRUCTURE: SENSITIVITY TO TRAFFIC CHARACTERISTICS.....	559
<i>Бранко Давидовић, Душко Летић, Александар Јовановић, Снежана Врађеиш</i> ПРОЦЕНА ЗАУЗЕТОСТИ ПАРКИНГ МЕСТА У СИСТЕМУ ПАРКИРАЊА СА РЕЗЕРВАЦИЈАМА.....	563
<i>Братислав Лазих, Небојша Бојовић, Владан Батановић, Радивој Петровић, Слободан Губеринић</i> РАЧУНСКИ АСПЕКТИ ОДРЕЂИВАЊА ОПТИМАЛНОГ УПРАВЉАЊА САОБРАЋАЈЕМ НА СИГНАЛИСАНОЈ РАСКРСНИЦИ.....	569
<i>Братислав Лазих, Небојша Бојовић, Владан Батановић, Радивој Петровић, Драган Радојевић, Слободан Губеринић</i> ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП ОПТИМАЛНОМ УПРАВЉАЊУ САОБРАЋАЈЕМ НА СИГНАЛИСАНОЈ РАСКРСНИЦИ.....	573
<i>Ивана Јовановић, Ивана Вукићевић Бишевац, Данијела Пјевчевић, Катарина Вукадиновић</i> ПРОГНОЗА ИЗВОЗА И УВОЗА ЖИТАРИЦА ПРЕКО РЕЧНИХ ЛУКА У СРБИЈИ.....	577
<i>Јелена Милутиновић, Биљана Гргуровић, Славица Штрбац</i> ИНОВАТИВНИ КОНЦЕПТ АДРЕСИРАЊА У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА НОВИХ ПОСЛОВНИХ МОДЕЛА ПОШТАНСКИХ ОПЕРАТОРА.....	583
<i>Милица Шелмић, Драгана Мацура, Душан Теодоровић, Бранка Димитријевић</i> УПРАВЉАЊЕ ЦЕНАМА У КУРИРСКОЈ СЛУЖБИ ПРИМЕНОМ РЕЗОНОВАЊА ЗАСНОВАНОГ НАСЛУЧАЈУ.....	587
<i>Татјана Крстић Симић, Обрад Бабић</i> УТИЦАЈ МЕРА УПРАВЉАЊА САОБРАЋАЈЕМ НА АЕРОДРОМУ НА ТРОШКОВНУ ЕФИКАСНОСТ ЛЕТОВА.....	591

СИМУЛАЦИЈЕ

<i>Марко С. Богатовић, Мирјана Стојановић, Милорад Станојевић</i> ПРАЋЕЊЕ КАШЊЕЊА GNSS СИГНАЛА ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ ФИТОВАЊА	597
--	-----

СТАТИСТИЧКИ МОДЕЛИ

<i>Biljana Č. Popović, Aleksandar P. Jovanović, Vidosav LJ. Marković, Milica M. Skamagkoulis</i> AN EXAMPLE OF THE APPLICATION OF COPULA MODELS IN PHYSICS.....	603
--	-----

<i>Milan Radojičić, Aleksandar Đoković, veljko jeremić</i> EVALUATING FOOTBALL PLAYERS EFFICIENCY USING DIFFERENT MULTIVARIATE ANALYSIS APPROACHES	607
--	-----

<i>Немања Миленковић, Александар Ђоковић, Гордана Савић, Марина Јовановић Миленковић, Милан Мартић</i> МЕРЕЊЕ СОЦИО-ЕКОНОМСКЕ РАЗВИЈЕНОСТИ ЗЕМАЉА ЕВРОПСКЕ УНИЈЕ – МУЛТИВАРИЈАЦИОНИ ПРИСТУП	611
---	-----

СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛИ И ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ

<i>Ioana Dănilă</i> ON A MIXTURE PARETO DISTRIBUTION	617
---	-----

УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ

<i>Ана Д. Миљавец</i> ГРУПНА ТЕХНОЛОГИЈА - ПРЕДУСЛОВИ И ОГРАНИЧЕЊА ПРИМЕНЕ.....	623
--	-----

<i>Сања Пузовић, Јасмина Весић Васовић, Мирослав Радојичић, Владан Пауновић</i> УПОРЕДНА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ТОКА РЕДОСЛЕДА ОПЕРАЦИЈА НА ИСКОРИШЋЕНОСТ МАШИНСКИХ КАПАЦИТЕТА	627
---	-----

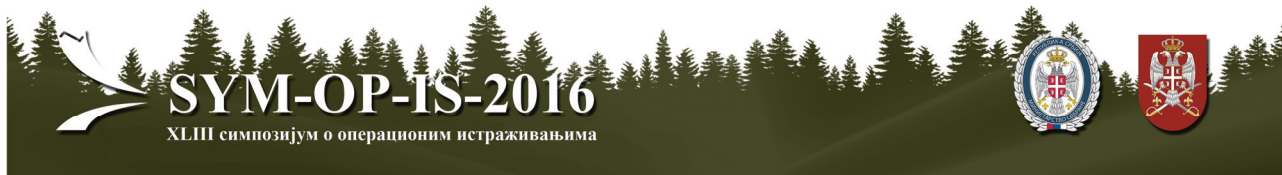
УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ

<i>Бранко Бабић, Ненад Ковачевић</i> ВАНРЕДНЕ СИТУАЦИЈЕ У 2014. - ОДГОВОРНОСТ ЈЕДИНИЦА ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ.....	635
---	-----

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА

<i>Веско Луковац, Бобан Ђоровић, Милена Вукић</i> FUZZY АХП ПРИСТУП РАНГИРАЊУ ПРОЦЕЊИВАЧА ЗА ПРОЦЕНУ ПЕРФОРМАНСИ ВОЗАЧА ВОЈНИХ МОТОРНИХ ВОЗИЛА	643
--	-----

ПРЕДАВАЧ ПО
ПОЗИВУ



FROM OFFENSIVE TO DEFENSIVE NUCLEAR DETERRENCE THAT THREATENS NO ONE, AND TO NO-FIRST-USE OF NUCLEAR ARMS

VLADIMIR KOZIN*

Chief Adviser to the Director, Russian Institute for Strategic Studies (RISS),
Member, Russian Academy of Natural sciences,
Professor, Academy of Military Sciences of the Russian Federation

1. INTRODUCTION

The USA intends to continue to pursue its regional and global military policy on the basis of potential strategic and tactical nuclear weapons employment in the first preventive and pre-emptive nuclear strikes, guided by the nuclear strategy of “unconditional offensive nuclear deterrence”, which has actually remained unchanged since 1945 – from the moment of the use of the American nuclear weapons against two peaceful Japanese cities.

2. THE USA WILL KEEP UNCHANGED ITS NUCLEAR STRATEGY TILL THE END OF 21ST CENTURY

Washington’s reliance on such strategic doctrine will remain, at least until the end of this century. The U.S. military and political leadership is not going to change a parallel nuclear strategy called “extended nuclear deterrence”, which presupposes unfolding the U.S. nuclear umbrella over the territory of all member states of NATO, as well as countries non-members of the Alliance - totally over 33 countries all over the world .

For more than 70 years the U.S. military and political leadership cannot step back from the destabilizing strategic paradigm of “**mutual assured destruction**” or MAD, developed during the first phase of the Cold War. A modified formula, which was invented by one of the arms control advisors to President Barack Obama as “**mutual assured security**” or MAS had no central tenet: a guarantee of massive non-use of conventional forces and nuclear weapons in a first strike against Moscow. The current U.S. Administration also rejected the strategy of “**minimum nuclear deterrence**” posture and intends to maintain the “counterforce nuclear capabilities” to a level that would not allow Russia and China to deliver a second retaliatory strike on the USA.

Though the current U.S. Administration is discussing the possibility of giving up the concept of a first nuclear strike, it still refuses to take upon itself together with Russia a mutual commitment not to use nuclear weapons in a first strike or not to use it at all. All U.S. Administrations have declined to accept several Soviet and Russian initiatives on that issue. At the official level, the matter between Moscow and Washington is not being discussed so far, though the initial steps in this direction has been made by the USSR 34 years ago – in 1982. An expert answer to the related leakage released by the

newspaper “Washington Post” on July 10, 2016, has been given by the newspaper “Red Star” on July 18 this year in an article “Obama’s Hidden Motives.”

It must also be borne in mind that NATO political and military circles are widely discussing the possibility of starting a limited nuclear war in the framework of the concept of “de-escalation of escalation” in order to “de-escalate” regional armed conflicts that can erupt with the use of conventional weapons. The possibility of the outbreak of hostilities with the use of miniature nuclear warheads or warheads with low yield is also debated, and Washington does not conceal its intentions to use a new air dropped bomb “B-61-12” with its minimum nuclear yield 0,3 kiloton (its general mission will be discussed later). It should also be noted that high-ranking civilian government officials in the NATO countries who can influence the decision-making process in the military nuclear domain are frequently invited to take part in the computerized nuclear war-gaming.

Some high-ranking NATO officials have publicly complained that before the Alliance held separate military exercises with the use of conventional and nuclear weapons, but has never tested the transformation of the first type of exercises in the second ones. Currently such transformed drills are being conducted, because the recommendation of the transformation of NATO military exercises with the use of conventional weapons into nuclear arms exercises became the focus of attention within the transatlantic Alliance.

The **election platform of the Republican Party** of the United States entitled “America Resurgent”, prepared for the current U.S. presidential campaign provides for further modernization of its nuclear weapons and their means of delivery, without making a distinction between strategic and tactical nuclear arms. A similar document of the **U.S. Democratic Party** sets the task to save the U.S. strategy of unconditional offensive nuclear deterrence, and does not contain any hint regarding the potential withdrawal of American nuclear weapons from the European continent and from the Turkish part of Asia. Actually, the formula of “reducing reliance on nuclear forces” is interpreted not per se in its traditional meaning, but as an opportunity for a limited use of the U.S. nuclear forces in armed conflict with the use of conventional weapons only. In other words, there will be no “reduced reliance on nuclear forces” in an all-out nuclear confrontation. One can assume that no matter which party

nominee in the United States will settle down in the White House, the Pentagon will maintain a strong reliance on a radically revamped nuclear strategic and tactical arsenal.

3. CURRENT AND PROSPECTIVE U.S. NUCLEAR ARSENAL: ITS ASSESSMENT

Today, the U.S. nuclear forces have a powerful arsenal of strategic nuclear offensive arms (SOA) and tactical nuclear weapons (TNW), numbering 4571 nuclear warheads, including 1,461 warheads accounted for “operationally deployed” strategic nuclear warheads. In accordance with the provisions of the Russian-American START-3 Treaty also known as the New START, signed in April 2010, by the time of its full implementation (2021), the Pentagon may remain considerable nuclear arsenal up to 1,550 strategic nuclear warheads and a combination of totally 800 “operationally deployed” and “operationally non-deployed” launchers.

In the next 15 years, the U.S. military and political leadership intends to make a radical modernization of its strategic offensive arms. It means that a new heavy strategic bomber tentatively named as “B-3” will be put on service in 2025 (it is supposed to produce 80-100 of them), a new intercontinental ballistic missile – from 2029 (the overall production is expected to hammer out 400 such ICBMs), as well as a new nuclear-powered ballistic missile submarine - from 2031 (totally 12 submarines will be built, each of them will be set to install 16 nuclear-tipped ballistic missiles).

In sum, the redrawing of the traditional U.S. strategic nuclear triad will allow the USA to have by the middle of this century 692 brand new SOA delivery vehicles. This does not include long-range sea-based and air-based cruise missiles fitted with nuclear warheads.

As a result of all these measures the USA will increase the range and speed of flight of land-based and sea-based ICBMs and SLBMs, as well as improve their guidance system. Some of the submarines with ballistic missiles (SSBNs) will be further converted into the platforms capable to carry sea-based cruise missiles equipped with conventional warheads (SSGN), which will increase their number from the current four converted Ohio-class submarines. On each of them, instead of housing Trident-2 (D-5) ballistic missiles, there are 154 high-precision long-range Tomahawk-class cruise missiles which could be used to deliver a first non-nuclear strike.

In 2020, or even earlier in the United States will complete the modernization of tactical nuclear weapons: they will start mass production of **new nuclear bombs of increased accuracy B-61-12**, which will replace the four types of bombs of this class developed earlier. The Pentagon no longer plans to carry out new tests for such bomb, as all three of its tests (the final third test was conducted October 20, 2015 in Nevada) have shown that this bomb could be placed on the production line without additional testing. The total number of new bombs can reach up to 480-930 pieces. This amount will enable the Pentagon to fully replace all U.S. nuclear bombs of these types, which have been stored by the USA in Europe from the 1950s, and up to now are still located in Belgium, Germany, Italy, the Netherlands and in the Asian part of Turkey.

Being flight-adjustable via a specifically designed tail-fin and guide by a global navigational positioning system bomb B-61-12 will be able to perform both tactical and strategic missions, as it will be delivered by heavy strategic bombers B-52H and B-2A and in the future by a new heavy strategic bomber B-3. Considering its increased accuracy and the maximum charge of its nuclear warhead (50 kilotons), it can be referred to as the weapon of a first nuclear strike and designed to destroy intercontinental land-based missiles in their silos and hardened underground command and control centers of the Russian Federation.

A new U.S. multipurpose Joint Strike Fighter F-35, two versions of which will be able to deliver nuclear bombs B-61-12 have also been developed. There are the land-based F-35A and the sea-based F-35C (on aircraft carriers) which will stay in service until 2070-2075, with some of them are to be sold to six European countries

The basic feature of the U.S. nuclear forces stationed in Europe, is that they are considered in the Pentagon and the State Department as “**forward-based assets**” with respect to the territory inside the Russian Federation.

Washington and 14 other NATO member countries will continue to carry out a destabilizing Air Force operation labeled as “Baltic Air Policing” conducted in the sky of Latvia, Lithuania and Estonia. Its peculiarity is that four types of DCA or “dual-capable aircraft” by three NATO nuclear weapon member-states – France, the United Kingdom and the USA – are actively used making lift offs and landings at three military airfields in Lithuania (Zokniai Air Force Base/AFB), Latvia (Lielvarde AFB) and Estonia (Åmari AFB). They are located very close to the Russian and Belarusian territory. An important factor is that this operation is carried out day-in-day-out, and 365/366 days per annum.

The USA would like to expand vast cooperation in the nuclear field with its allies. 27 NATO nations are participating in the NATO Nuclear Planning Group, except France. Washington who has signed special “nuclear sharing agreements” with the group of 15 non-nuclear NATO member states, intends to increase their list. The recent NATO Summit in Warsaw has recorded the position of the enlarging the number of the participants in the “nuclear sharing agreements” with the United States.

Eight countries (the Czech Republic, Denmark, Hungary, Norway, Poland, Portugal, Romania and the United Kingdom) are involved in “active nuclear missions” comprised of regular air patrols, radar data exchange, aircraft refueling and maintaining of communication between the NATO aircraft capable to carry nuclear weapons. The Pentagon also plans to continue engaging the Allied pilots in TNW drop testing during special Air Force exercises called “Steadfast Noon” and “SNOWCAT”.

Under the pretext of responding to the Ukrainian crisis, initiated by the United States and supported by all other member states of the NATO, the Pentagon increased the number of its nuclear bombs in a number of European countries, as well as the number of flights of its heavy strategic bombers B-52H and B-2A capable to carry strategic and tactical nuclear weapons in the airspace of

Western and Eastern Europe, as well as off the coast of northern Russia's coastline in the Arctic region.

If earlier, the United States claimed that their nuclear weapons deployed in Europe and in the Asian part of Turkey, have been under "the dual subordination", that is under the control of the USA and countries where they have been deployed, nowadays it admits they are entirely controlled by the Pentagon and the U.S. President as the Supreme Commander of the U.S. Armed Forces. It should be recalled that while offering to Russia an idea to start negotiations on tactical nuclear weapons' reductions, President Barack Obama has excluded from future negotiations Turkey, and spelled out no desire to pull back the U.S. TNW from Europe to equalize the starting negotiating positions of the two sides.

All these circumstances actually lower down the threshold for the use of nuclear weapons by Washington, including those fielded on the European continent.

A key feature of the current U.S. nuclear forces, as well as nuclear weapons of the United Kingdom and France, is that since May 2012 at its Summit in Chicago NATO has agreed to arrange a new operational and strategic "Chicago triad" - a permanent "mix" of strategic and tactical nuclear arms, missile defense elements of the U.S. and NATO global ballistic missile defense (BMD), as well as their general purpose forces (conventional weapons).

It should be borne in mind that the Pentagon already has in service 33 Aegis-capable warships with the total number about 400 plus of interceptor missiles, and in 2041 it will have 84 such ships or even 96 - that is 1/3 of the entire U.S. Navy by that time. Aegis-capable vessels of the USN and its NATO allies constantly sail in the Barents, Baltic, Black and Mediterranean Seas. The Pentagon has put on combat duty its missile defense system in Deveselu (Romania), and began to build a similar BMD complex in Redzikowo (Poland).

In conventional forces NATO has increased the number of armored forces and expanded its military bases infrastructure in the countries of Eastern and Southern Europe, by adding nine new bases and six HQs.

It should be noted that the overall military activity of NATO member countries in the Eastern Europe region increased over the past two years five times as much, in the Southern zone of Europe - four times, and their airborne reconnaissance activity adjacent the Russian Federation with the use of aircraft RC-135 and AWACS - almost ten times.

Thus, Europe is once again, as it has witnessed in the late 1970s and early 1980s, after the famous NATO "double-track" decision on deployment of Pershing and Tomahawks missiles stamped in December 1979, becomes a place of excessive concentration of the combined armed forces of the USA and its NATO allies, classified as the forward-based high-tech war-fighting capabilities.

There is the possibility of a new war the Alliance could unleash in Europe, involving both conventional and nuclear forces which are to be protected by a multi-directional and multi-layered "missile defense shield".

4. DISADVANTAGES OF SOME INITIATIVES PUT FORWARD BY WASHINGTON ARE QUITE OBVIOUS

One can pay attention to Washington's attempts to impose a legal obligation on the Russian Federation in the form of abstaining from "launch-on-warning" concept, which would deprive its ability to retaliate to a nuclear aggression from overseas. Moscow cannot accept such approach articulated by Washington.

There are also serious doubts about the sincerity of the USA when it is offering to Moscow to reduce by one-third "operationally deployed" SOA arsenals between Russia and the USA, while increasing the Pentagon's global BMD striking weapons and implementing an extensive program of modernization of the tactical nuclear weapons stored in Europe.

First, the proposal does not provide for the reduction of the U.S. "operationally non-deployed" SOA launchers, which can be put on combat duty in a pretty short period of time. As of March 1, 2016 the USA had 474 "operationally non-deployed" SOA launchers, accounting for 63.9% of the level of the 741 "operationally deployed" launchers of all three components of the classic strategic nuclear triad.

Second, it also leaves outside the negotiating table the U.S. BMD interceptors and TNW assets: they all are under no control or any limitations.

Third, the United States continues to be guided by the nuclear strategy of a first nuclear strike against the Russian Federation and the People's Republic of China.

The modern approach to the problem of control of arms requires different views. It is impossible to reduce one type of weapon and to give a "green light" to other destabilizing weapons' systems. No one can be guided by the principle of inequality and unequal security. No one should see its partner in the negotiations as a simpleton who does not see and does not understand anything what is going on around us.

5. PRACTICAL SUGGESTIONS

In connection with the problem of uncontrolled deployment of the U.S. missile defense system it is necessary to point out the danger of upsetting the delicate balance between strategic offensive nuclear arms and strategic defensive anti-missile weapons, when the latter may exceed the first category of armaments several times. Guided by the strategy of a first massive nuclear or first massive non-nuclear strike, the USA could deliver an unexpected blow to Russia and its allies and protect itself by its multilayered and geographically widely dispersed missile defense system.

Such risk increases even more if one considers that in the universal launchers Mk-41, designed to fire defensive interceptor missiles, the USA can simultaneously load offensive weapons in the form of land-based cruise missiles, and high-precision hypersonic arms, developed in the USA in the framework of the strategy of "Prompt Global Strike".

Taking into account these circumstances, it is extremely important to start the process of limiting military activity

of NATO member countries with five simple steps that do not require significant financial investments.

For example, to reach an agreement between the states-members of the Western military Alliance and Russia:

(1) agreement on the **mutual non-use of nuclear weapons in a first strike**, and as **an intermediate step** toward this goal – to formulate a mutually acceptable strategy of “**defensive nuclear deterrent that threatens no one**”;

(2) accord on **complete withdrawal of the U.S. tactical nuclear weapons** from the European continent and the Asian part of Turkey;

(3) agreement on **freezing of the operational use of the U.S. missile defense complex in Romania** and full withdrawal of all BMD interceptors, mounted on it, to the territory of the United States, as well as the **freezing of construction of a similar BMD complex in Poland** for an indefinite period of time; a new multilateral ABM Treaty on limiting the number of BMD interceptors and their geographical deployments;

(4) accord on returning all NATO conventional forces deployed in Eastern and Southern Europe after April 1st, 2014 to their original positions;

(5) understanding on holding in Belgrade or in Geneva a **qualitatively new Conference on Security and Cooperation in Europe** with the participation of all European states, as well as the United States and Canada, which would put an end to unnecessary and dangerous military confrontation on the continent, initiated by the leading countries of the Alliance, led by USA.

The next U.S. Administration has to consider these steps seriously, because the “Doomsday” clock is ticking. Nowadays it shows 23:57. Too alarming.

The current unstable and even fragile military and political situation in the world requires active actions aimed at its radical and effective amelioration.

* *Vladimir P. Kozin is a holder of the Ph.D. degree, Academic rank of a Senior Researcher and a State Counselor of the Russian Federation, 2nd Class, diplomatic rank of a “Counselor 1st Class” and a title “Honorary Staff Member of the Russian Foreign Ministry”. He has also the title “Global Senior Fellow”, National University of Sciences and Technology, Islamabad, Pakistan.*

He graduated from the Moscow State Institute of International Relations (1972), a post-graduate course at the Diplomatic Academy of the Russian Foreign Ministry (1981) and the Royal College of Defense Studies in London (1995).

In 1972-2012 he has been a staff member at the Soviet and Russian Foreign Ministries. In 2008-2010 he worked as a Head of Analytical and Forecasting Desk at the Department on General Asian issues. His last position before his retirement was Deputy Director at the Information and Press Department, and the Head of the Information and Analytical Division at the Russian Foreign Ministry (2010-2012). After retirement in February 2012 he joined RISS.

He was also a member of the Expert Group of the Interagency Working Group on the Ballistic Missile Defense talks with NATO, Russian President Administration – from its creation (2011) till it was dismissed (2013).

Vladimir P. Kozin is an author of several monographs, including “Demilitarization of the Indian Ocean.” Moscow. 1990. 193 PP. (in Russian), “Evolution of the U.S. ballistic missile defense and Russia’s stance” (1945-2013). Moscow. 2013. 384 PP. (in Russian); “Evolution of the U.S. Ballistic Missile Defense and Russia’s Stance” (1945-2013). Moscow: Inforos. 2014. 351 PP. (in English); “The U.S. Military Doctrine and its Military Policy Forecasting till 2075: Critical Analysis and Practical Recommendations”. Saarbrücken, the FRG. 2014. 75 PP. (in Russian); “Military policy and strategy of the USA in geopolitical dynamics of the XXI century”. Moscow. 2014. 368 PP. (as a co-author; (in Russian); “Militarization of Outer Space and Its Impacts on Global Security Environment”. Islamabad: National University of Science and Technology. 2015. 15 PP. (in English); “The U.S. Tactical Nuclear Weapons: Reductions or Modernization?” Moscow. 2014. 496 PP. (in Russian); “Evolution of the U.S. Missile Defense Beyond 2040 and Russia’s Stance”. Moscow. 2016. 446 PP. (In English); “The Chicago Triad of the USA and NATO and its Consequences for Russia”. Moscow. 2016. 210 PP. (in Russian), and more than 400 articles and chapters on arms control and disarmament published in the Soviet Union and Russia, as well as abroad.

ЕКОЛОГИЈА

A LIVING LAB AS AN OPEN INNOVATION ECOSYSTEM

ANGELA FAJSI

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, angela.fajsi@gmail.com

SLOBODAN MORAČA

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, moraca@uns.ac.rs

Abstract: In constantly changing market small and medium enterprises (SMEs) need to be able to innovate and develop business activities in order to fill strict customer requirements. SMEs are facing with number of problems such as access financing sources, capacity building, access to market, etc. Networking and common operation in the field of research, innovation, equipment and software using help SMEs to eliminate or partly solved mentioned problems. The purpose of this paper is to show the effects of using Information communication technologies in open innovation system. In the middle of this process are living labs which represent self-centered system that integrates research and innovation processes, so in this paper will be examined various types of labs and their utilization in different environment.

Keywords: Small and medium enterprises, Open innovation, Innovation labs

1. INTRODUCTION

In dynamic market environment focus is put on collaboration between participants in networked business area. SMEs have the main role in that process because they are flexible and open for different kind of collaborations. One of the most usual kinds of networking is operating within the cluster. Clusters represent complex organizational model which is forming active communication supply chains which are flexible and adaptive on dynamic environment.

Innovative companies have important role in process of sharing ideas and resources with other cluster participants. For that purpose Innovating labs represent a bridge between participants in the entire open innovation system.

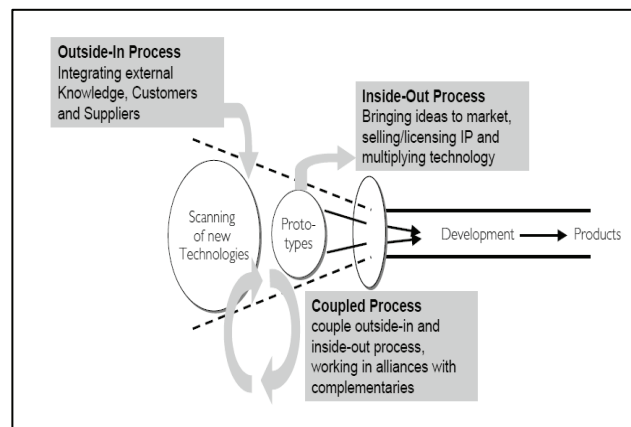
2. THE CONCEPT OF OPEN INNOVATION

2.1. Open innovation theory

Term of Open innovation is coined by Henry Chesbrough who implied that innovative ideas can be created and developed from the inside and from the outside of the company [1].

Open innovation is defined as “a paradigm that assumes that firms should and can use external ideas as well as internal ideas, and internal and external path to market, as they look to advance their technology” [2].

Open innovation process relies on three different kinds of processes: Outside-In Process, Inside-In Process and Coupled Process (Picture 1).



Picture 1: Open innovation process archetypes [3]

Some other authors state that open innovation has only two dimensions [4]:

- inbound and
- outbound open innovation.

Inbound activities are oriented towards knowledge acquisition and technology purchasing. On the other hand outbound activities are oriented to in-house research and development using external sources of knowledge [4].

Open innovation is a self-organizing model, because the open-innovation network and its operation build on voluntary collaboration [5]. Individuals within this network have a similar role and importance within network. Focus is put on participant competencies which are crucial for efficiency of business activities within open innovation model.

2.2. SMEs and Open innovation

Due to limited financial and personnel resources SMEs are faced with the question which is the best way for innovating and achieving desired market position.

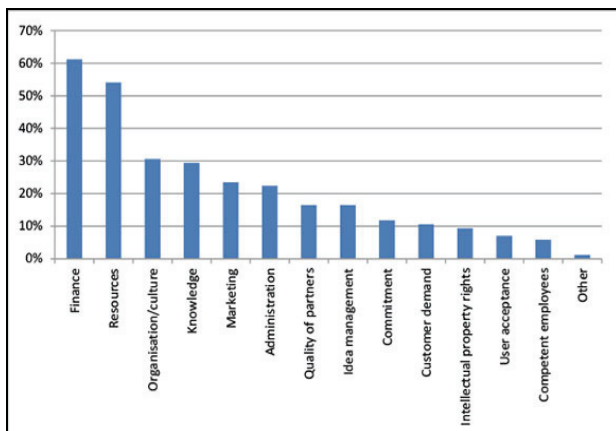
SMEs have a number of remarkable benefits that make them to be innovative, such as higher flexibility, faster adaptation to environment changes, higher customer focus [6].

When it comes to open innovation in SMEs, Chesbrough defined four groups of barriers [2]:

- lower absorptive capacities,
- lack the ability to absorb external technologies and ideas,
- unattractiveness as partners to others,
- lack the market power to capture the value.

Medium-sized enterprises adopt open innovation more often than small enterprises. These companies have more resources to organize innovation activities and they are larger repositories of knowledge [7].

SMEs that operate in developing countries experience certain challenges [9] and they are faced with many barriers to innovation (Picture 2).



Picture 2. Barriers to Open innovation [8]

Lack of finance and resources present the main barriers in open innovation process (up to 50% of respondents). Organizational culture and knowledge also marked as most usual barriers to open innovation process.

Hadjimanolis states that innovation barriers can be observed as external and internal barriers [10].

External barriers are related to environmental aspect, government regulations, policy actions, purchasing materials and semi-finished products. Some external barriers are lack of external partners and lack of information.

Internal barriers are related to human resources and other kind of resources, such as lack of management and technical expertise, lack of internal and external funds, lack of Information and communication technology (ICT).

Modern business activities are based on using of ICT which allow customers to take part in process of co-creation of product or services.

3. OPEN INNOVATION: ADVANCED TECHNOLOGY AND CO-CREATION

Advanced IT technologies enable innovation process from the early beginning to the closing phase. AT has a significant role in idea creation and its generation, then its role moves towards experimenting, testing and idea commercialization.

ICT is in direct correlation with process of co-creation. It allows customers and other value network participants to create new innovation ideas in order to improve current performances of product and services [11].

The role of ICT technology goes beyond traditional process of innovation. ICT makes this process more open, interactive and collaborative. In the early stage of innovation using of AT is not visible such as in the commercialization phase of innovation.

Using of advanced ICT technology is not usual in small scale enterprises because of their limited financial resources. Gans and Stern (2003) state that main problem of small enterprises is not so much invention but commercialization [12].

Cooperation with industry actors might be one way to overcome the difficulties of idea commercialization. One of the contemporary forms of association is clusters. The clusters included a number of related industries and other entities in order to achieve comparative advantages [13]. When it comes to innovation activities within cluster the important role has living labs which are generators of new ideas and innovative actions. Living labs are recognized as very important and efficient in the entire open innovation process.

4. LIVING LABS AS OPEN-INNOVATION NETWORKS

In recent years all processes and technologies related to the innovation in networked environment are located in innovation labs.

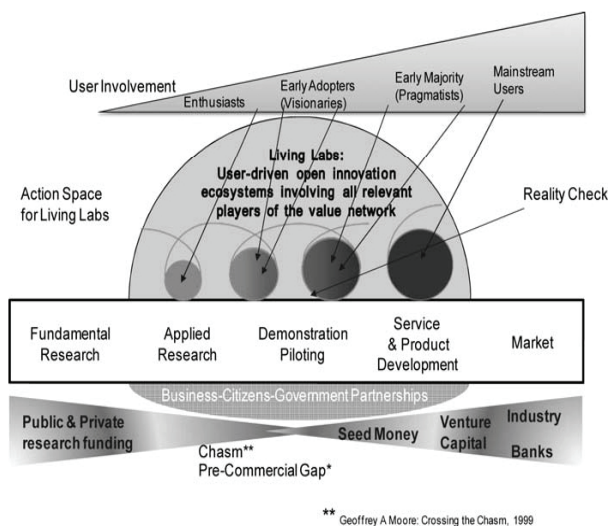
From the one side, there is linear closed innovation process which is usually run by one individual company. On the other hand open innovation process is decentralized and supported by living innovation labs which main actors are SMEs

Last several years the number of innovation labs is increasing especially in developed countries. Their main

purpose is to support creativity and innovation in organizations. One of the most significant characteristics of living labs is that they are open-innovation networks.

When it comes to less developed countries innovation labs become intermediaries between innovation drivers such as universities, institutes, large companies and small companies with limited resources and capacities.

Open innovation system involving all relevant players of the value network (Picture 3).



Picture 3. Model of living labs

Living innovation labs in open innovation system are based on business-citizens-Government partnerships. The greatest positive impact on innovation comes from networks comprising different types of partners [14]

In the literature there are a number of definition and explanation about living innovation labs. Westerlund and Leminen defined living labs such as “physical regions or virtual realities where stakeholders form public-private-people partnerships (4Ps) of companies, public agencies, universities, institutes, and users that collaboration create, prototype, validate, and test new technologies, services, products, and systems in real-life contexts” [14]

Living innovation labs promote openness within entire development process, especially in early stages of product development [15] and integrate both user-centered research and open innovation [16]. In such kind of networks companies collaborate with various types of partners and customers in order to create new products, services, and technologies [16].

In 2006, the European Commission started projects based on living innovation labs - European innovation system. The main idea is that Living labs would allow companies to involve users in the development of new products, services, or applications in a process of co-creation [17].

Table 1. Characteristics of different types of living labs [14]

Characteristic	Type of Living Labs			
	Utilizer-driven	Enabler-driven	Provider-driven	User-driven
Purpose	Strategic R&D activity with preset objectives	Strategy development through action	Operations development through increased knowledge	Problem solving by collaborative accomplishments
Organization	Network forms around an utilizer, who organizes action for rapid knowledge results	Network forms around a region (regional development) or a funded project (e.g., public funding)	Network forms around a provider organization(s)	Network initiated by users lacks formal coordination mechanisms
Action	Utilizer guides information collection from the users and promotes knowledge creation that supports the achievement of preset goals	Information is collected and used together and knowledge is co-created in the network	Information is collected for immediate or postponed use; new knowledge is based on the information that provider gets from the others	Information is not collected formally and builds upon users' interests; knowledge is utilized in the network to help the user community
Outcomes	New knowledge for product and business development	Guided strategy change into a preferred direction	New knowledge supporting operations development	Solutions to users' everyday-life problems
Lifespan	Short	Short/medium/long	Short/medium/long	Long

Understanding those differences between various living lab types helps companies to decide what they want to achieve and then to design appropriate lab according to their own objectives.

Open innovation systems in less developed countries are oriented towards solutions to users' everyday-life problems so user-driven living lab is the best decision in this particular case.

5. CONCLUSION

In accelerated business environment companies need to find ways to manage innovation activities in order to stay competitive on the domestic and international market.

Reviewing the literature and individual studies, the paper found that efficient open innovation system relies on using of ICT and customer co-creation. In the middle of OI process are living innovation labs – intermediaries

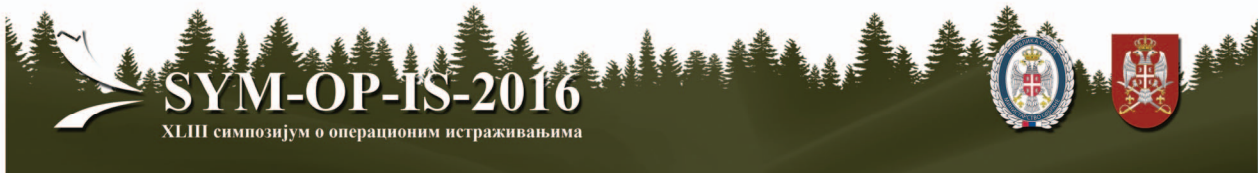
between open innovation drivers and small companies. This paper found that those labs have important role in less developed countries, especially user-driven type of living labs.

Acknowledgements

This work was partially supported by the Ministry of Education, Science and Technology Development of the Republic Serbia under Grant number TR-35050, for the period 2011-2016.

REFERENCES

- [1] Chesbrough, H. *Cover story. Open Innovation: A Key to Achieving Socioeconomic Evolution. How Smaller Companies Can Benefit from Open Innovation*, 2010 [Online] Available: http://static2.inovacaoedesign.com.br/artigos_cientificos/how_smaller_companies_can_benefit.pdf.
- [2] Chesbrough, H. *Open innovation: a new paradigm for understanding industrial innovation*, Open Innovation: Researching a New Paradigm, 1–12, 2006
- [3] Gassmann, O., Enkel E., *Towards a theory of open innovation: three core process archetypes*, In R&D management conference. 6,1–18, 2003
- [4] Michelino F., Caputo M., Cammarano A., Lamberti E., *Inbound and outbound open innovation: organization and performances*, Journal of Technology Management & Innovation. 9, 65–82, 2014
- [5] Leminen, S., Westerlund, M., & Nyström, A. G. *Living Labs as open-innovation networks*. Technology Innovation Management Review, 2(9), 2012
- [6] Høgeforster, M. *Future Challenges for Innovations in SMEs in the Baltic Sea Region*. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 110, 241-250, 2014
- [7] Awazu, Y., Baloh, P., Desouza, K. C., Wecht, C. H., Kim, J., & Jha, S. *Information–communication technologies open up innovation*. Research-Technology Management, 52(1), 51-58, 2009
- [8] Krause, W., & Schutte, C. S. L. *A perspective on open innovation in small-and medium-sized enterprises in South Africa, and design requirements for an open innovation approach*. South African Journal of Industrial Engineering, 26(1), 163-178, 2015
- [9] Van de Vrande, V. De Jong, J. P. J., Vanhaverbeke W., De Rochemont M., *Open innovation in SMEs: Trends, motives and management challenges*, Technovation. 29 , 423–437, 2009
- [10] Hadjimanolis, A. *Barriers to innovation for SMEs in a small less developed country (Cyprus)*. Technovation, 19(9), 561-570, 1999
- [11] Lichtenthaler, U. *Outbound open innovation and its effect on firm performance: examining environmental influences*. R&d Management, 39(4), 317-330, 2009
- [12] Gans, J. S., & Stern, S. *The product market and the market for “ideas”: commercialization strategies for technology entrepreneurs*. Research policy, 32(2), 333-350, 2003
- [13] Giuliani, E., Bell, M. *The micro-determinants of meso-level learning and innovation: Evidence from a Chilean wine cluster*. Research Policy 34, no. 1: 47–68, 2005
- [14] Nieto, M. J., Santamaría, L. *The importance of diverse collaborative networks for the novelty of product innovation*. Technovation, 27(6), 367-377, 2007
- [15] Lopez-Vega, H., Vanhaverbeke, W. *Connecting open and closed innovation markets: A typology of intermediaries*, 2009
- [16] Chesbrough, H. W., Appleyard, M. *Open innovation and strategy*. California management review, 50(1), 57-76, 2007
- [17] Archibugi, D. *The globalisation of technology and the European innovation system*. In Knowledge, Complexity and Innovation Systems (pp. 58-75). Springer Berlin Heidelberg, 2001



МОДЕЛ ОПТИМИЗАЦИЈЕ СМАЊЕЊА ЗАГАЂЕНОСТИ ВОДНИХ РЕСУРСА ЈЕЗЕРА ВРУТЦИ

OPTIMIZATION MODEL FOR THE REDUCTION OF POLLUTION OF LAKE VRUTCI WATER RESOURCES

АНА КАТИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, katic.ana92@gmail.com

БИСЕРА АНДРИЋ ГУШАВАЦ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, bisera@fon.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду приказана је примена операционих истраживања за решавање еколошких питања. Проблем који се посматра односи се на акумулацију Врутци, из које се водом снабдева град Ужице и околна места. У раду ће, на приказаном проблему загађења акумулације Врутци, бити приказан математички модел који се односи на смањење загађења које води порекло од деловања човека, тачније од отпадних вода домаћинства која припадају сливу акумулације.

Кључне речи: водни ресурси, математичко моделирање, језеро Врутци, отпадне воде.

Abstract: The application of operations research for solving environmental issues is shown in this paper. The problem that is observed refers to the reservoir Vrutci, the water supplier for the city of Uzice. A mathematical model that relates to the reduction of pollution caused by human, or more precisely pollution from the waste water of households is given.

Keywords: water resources, mathematical modeling, reservoir Vrutci, wastewater

1. УВОД

Град Ужице, као и већина градова у Србији, је у својој историји имао озбиљне проблеме у обезбеђењу квалитетне воде за пиће, због чега је формирана акумулација на подручју села Врутци. Међутим, начин коришћења земљишта у сливу акумулације и одсуство елементарних мера заштите квалитета вода у акумулацији Врутци погодује процесима еутрофикације и погоршања општег квалитета вода у акумулацији што, у једном моменту, доводи до искључења акумулације из водоснабдевања града.

Један од узрока за појаву овог загађења је човек и његово деловање на самим обалама акумулације, као и на простору који припада њеном сливу. Мере заштите које је потребно предузети како би се овај проблем отклонио или смањено дате су у плану локалне заједнице [1]. Мере се односе на изградњу постројења за прераду воде, изградњу резервоара за отпадне воде, канала за атмосферске воде и др.

2. ПРОБЛЕМ ЈЕЗЕРА ВРУТЦИ

Ужице је град који се налази у Западној Србији и припада Златиборском округу. Град је смештен у долини реке Ђетиње и налази се на брдско-планинском терену. Кроз овај предео протиче река Ђетиња са својим водотоком и која се дуж свог тока

јавља у облику клисуре и кањона. Узводно од Ужица изграђена је лучна брана и формирана је акумулација "Врутци" (слика 1) из које се град и околна места снабдевају водом.



Слика 1. Језеро Врутци и брана

Територији града припадају два већа урбана подручја - Ужице и Севојно, као и рурални део са 39 сеоских насеља који су већином разбијеног типа с обзиром на подручје на ком се налазе. По подацима пописа из 2011. године у општини живи 78 018 становника [2].

2.1 Састав и квалитет воде у акумулацији

На квалитет воде у акумулацији утичу природни и антропогени фактори. Поред њих, велики утицај на квалитет воде имају и саме карактеристике језера, као што су дубина језера, површина воденог огледала, режим управљања акумулацијом, итд.

Човек својим утицајем, како на сливу тако и на обалама акумулације, такође представља један од фактора загађења. Око 80 разутјених засеока се посматрају као расути извори загађења, који загађење генеришу просторно и они су, углавном, без организованих система за прикупљање отпадних вода и испуштање у реципијент. Из ових насеобина површинска и подземна загађења, непосредно или посредно, доспевају у водотоке. С обзиром на значајан број домаћинстава, јасно је да овако велики број разутјених тачкастих загађивача са континуалним уносом представља оптерећење за подземну и површинску воду, као и уопште на животну средину.

Увидом у стање на терену констатовано је да на подручју слива у близини акумулације и у близини водотока, уз путеве, нису изграђени заштитни канали. Ови канали би прикупљали атмосферске воде које спирају загађујуће материје са коловоза и евакуисали их ван подручја где имају непосредни утицај на квалитет вода.

Квалитет воде акумулације се процењује, између осталог, и у односу на „Уредбу о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање“ [3].

У наставку је дат приказ најбитнијих параметара који указују на квалитет воде:

- БПК5 - Биохемијска потрошња кисеоника (мерена после пет дана) је биохемијски показатељ нивоа оптерећења воде лако биооксидабилним органичким материјама [1].
- Фосфор - повећана концентрација фосфата узрокује бујање биљног света у водама. Различите аеробне бактерије приликом разградње те биљне масе користе кисеоник, чиме се његова концентрација у води драстично смањује.
- Азотне материје доспевају у воду из неколико извора: из атмосфере, биљног отпада, канализације, индустријских отпадних вода, а повећана количина азота у различитим облицима у води је токсична за човека.

2.2 Проблем квалитета воде у акумулацији

Децембра 2013. године у акумулацији Врутци регистрована је интензивна појава цветања и развоја врсте *Planktothrix rubescens* и њене доминације у акумулацији. *Planktothrix rubescens* спада у планктонске, слатководне врсте које се јављају у мезотрофним и еутрофним великим језерима и стајаћим водама и у периоду цветања боје воду у црвено (слика 2). Ова врста по новим таксономским схватањима припада цијанобактеријама (некада модрозелене алге) које су током еволутивних процеса развиле специфичне екофизиолошке особине које им омогућавају различите стратегије преживљавања и адаптације у животной средини.

Доминација ове врсте у акумулацији указује на дубоке промене у структури и функционисању

метаболизма овог екосистема. Њихова појава доводи до ризика од могуће продукције биолошки активних материја и једињења која су токсична и опасна за многе организме у води, топлоткрвне хомеотермне животиње и човека.



Слика 2: Језеро Врутци након загађења [1]

С обзиром да је акумулација извориште снабдевања водом Ужица, а да постројење за прераду воде није било процесно способно да преради такву сирову воду до квалитета за пиће, овај проблем је довео до искључења акумулације из система водоснабдевања (30. децембра 2013. године) и увођења ванредне ситуације [1].

2.3 Корективне акције

Потребно је што пре реализовати корективне акције како би се квалитет воде у акумулацији побољшао. Предлажу се следеће корективне акције:

- решавање питања одвођења отпадних вода - домаћинства имају велики удео у загађењу због неразвијене канализационе мреже. Предлаже се формирање канализационих мрежа и прикључење свих домаћинстава, или ако, због неприступачности терена то није могуће, приступити изради непропусних септичких јама,
- 85% домаћинстава поседује сточни фонд који учествује у загађењу. Потенцијално решење за овај проблем би било ископавање рукавца у ком би животиње могле да се напоје, а које би било обезбеђено и заштићено од загађења,
- како се села која припадају сливу, често налазе на неприступачном терену предлаже изградња монтажног објекта у које би могао да се складишти чврст отпад из домаћинства који чини одприлике 20% од укупног загађења која производе домаћинства.

3. МОДЕЛИРАЊЕ ПРОБЛЕМА

Регулисањем одвода отпадних вода из свих домаћинстава може се решити проблем утицаја човека са фокусом на отпадне воде и чврст отпад који настаје у домаћинствима. У складу са тим, формулисан је модел који за циљ има минимизацију трошкова који настају предузимањем одређених корективних акција, како би се спречио утицај отпадних вода на квалитет воде у акумулацији.

У суштини, математичким моделом се бира број одређених корективних акција, са циљем да се

минимизују трошкови. Одабране акције утичу на смањење загађености воде у језеру које воде порекло од домаћинства. За потребе рада узима се однос 80:20 тј. да 80% загађења од једног домаћинства води порекло од отпадних вода, док остатак чини чврст отпад. С обзиром на брдско-планински предео, па самим тим и неприступачност терена на ком се налазе домаћинства, за одређен број домаћинства није могуће урадити прикључак на канализациону мрежу.

За потребе формулације математичког модела постављене су границе у оквиру којих показатељи квалитета воде могу да се крећу. Велики број параметара (у даљем тексту показатеља) утиче на квалитет воде, али за потребе рада користе се показатељи који су се на више места помињали као најзначајнији. То су биохемијска потрошња кисеоника (БПК₅), укупна количина азота (N) и укупна количина фосфора (P). У табели 1. дати су подаци о дозвољеној количини тј. о дозвољеној концентрацији посматраних показатеља у води.

Табела 1. Границе за показатеља квалитета [1]

Граница	БПК (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)
min	0	0	0
max	20	6	1

У табели 2 дати су подаци о оптерећености показатељима квалитета за становништво и сточни фонд.

Табела 2. Оптерећеност показатељима квалитета [1]

Врста загађења	БПК ₅	N	P
Становништво (gr/st/dan) h_i	60	8.8	1.8
Сточни фонд (kg/UG/god) g_j	0.6	1.2	0.06

Да би подаци могли да се искористе за поређење и израчунавање укупног загађења а самим тим и формирање ограничења потребно је укрестити дате податке са бројем становника, бројем домаћинства, просечним бројем становника по домаћинству и бројем домаћинства са сточним фондом. На основу тога добијамо податке о загађењу по становнику или по јединици сточног фонда (табела 3).

Табела 3. Усвојени коефицијенти генерисања притиска [1]

Врста загађења	БПК ₅	N	P
Становништво (gr/st/dan) h_i	65.7	9.64	1.97
Сточни фонд (kg/UG/god) g_j	0.60	1.20	0.06

Да би подаци били упоредиви, потребно је прилагодити и границе у којима треба да се нађу. Те границе су дате као концентрација одабраног показатеља у води, а потребно је да буду дате у кг/год. Поступак претварања мерних јединица на основу просечне количине отпадних вода из домаћинства која износи 1,3 л/с [1] је следећи (на примеру за БПК₅):

$$a_{max} = 20 \frac{mg}{l} \cdot 1,3 \frac{l}{s} \quad (1)$$

$$a_{max} = 26 \frac{mg}{s} \quad (2)$$

$$a_{max} = 26 \frac{mg}{s} \cdot \frac{1 g}{1000 mg} \cdot \frac{1 kg}{1000 g} \cdot 60 \frac{s}{min} \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 24 \frac{h}{dan} \cdot 365 \frac{dan}{god} \approx 820 \frac{kg}{god} \quad (3)$$

На овај начин се добијају горње границе за сва три показатеља (табела 4).

Табела 4. Захтеване границе за показатеље

Граница	БПК (kg/god)	N (mg/l)	P (mg/l)
min	0	0	0
max	820	258	41

Акције изградње монтажних објеката за чврст отпад су предложене за два одабрана места као пробно решење и намењена су углавном селима која се налазе на неприступачном терену, тако да је за потребе пројекта одабрано једно мало и једно веће село.

3.1 Нотација

За формулацију математичког модела коришћене су следеће ознаке:

x_i – предузета акција у циљу побољшања стања, $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

x_1 – број изграђених непропусних септичких јама

x_2 – број изграђених канализационих прикључака за домаћинства

x_3 – индикатор изградње рукавца за сточни фонд

$$x_3 = \begin{cases} 1, & \text{ако се изгради} \\ 0, & \text{у супротном} \end{cases}$$

x_4 – индикатор изградње монтажног објекта за депоновање чврстог отпада у месту Кремна

$$x_4 = \begin{cases} 1, & \text{ако се изгради} \\ 0, & \text{у супротном} \end{cases}$$

x_5 – индикатор изградње монтажног објекта за депоновање чврстог отпада у месту Витаси

$$x_5 = \begin{cases} 1, & \text{ако се изгради} \\ 0, & \text{у супротном} \end{cases}$$

c_i – цена предузете акције $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

a_{BPK}^{min} – доња граница за параметар БПК

a_{BPK}^{max} – горња граница за параметар БПК

b_N^{min} – доња граница за параметар N

b_N^{max} – горња граница за параметар N

c_P^{min} – доња граница за параметар P

c_P^{max} – горња граница за параметар P

h_{BPK} – измерена количина БПК у отпадној води по домаћинству од стране становништва када није решено питање одвођења отпадних вода

h_N – измерена количина N у отпадној води по домаћинству од стране становништва када није решено питање одвођења отпадних вода

h_P – измерена количина P у отпадној води по домаћинству од стране становништва када није решено питање одвођења отпадних вода

g_{BPK} – измерена количина BPK у отпадној води по домаћинству од стране сточног фонда

g_N – измерена количина N у отпадној води по домаћинству од стране сточног фонда

g_P – измерена количина P у отпадној води по домаћинству од стране сточног фонда

y_j – укупна количина показатеља j у води,
 $j \in \{BPK, N, P\}$

bd – укупан број домаћинстава

bds – број домаћинстава са сточним фондом

b_1 – број домаћинстава у месту Кремна

b_2 – број домаћинстава у месту Витаси

A – број домаћинства на неприступачном терену за који мора да се уради непропусна септичка јама

B – одобрен буџет

3.2 Математички модел

Формулисани математички модел дат је у наставку:

$$(\min) \left(\sum_{i \in I} c_i x_i \right) \quad (4)$$

п.о.

$$a_{BPK}^{min} \leq y_{BPK} \leq a_{BPK}^{max} \quad (5)$$

$$b_N^{min} \leq y_N \leq b_N^{max} \quad (6)$$

$$c_P^{min} \leq y_P \leq c_P^{max} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & (bd - (x_1 + x_2)) \cdot h_{BPK} \cdot 0,8 + (1 - x_3) \cdot g_{BPK} \cdot bds \\ & + (1 - x_4) \cdot h_{BPK} \cdot b_1 \cdot 0,2 + (1 - x_5) \cdot h_{BPK} \cdot b_2 \cdot 0,2 \quad (8) \\ & = y_{BPK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (bd - (x_1 + x_2)) \cdot h_N \cdot 0,8 + (1 - x_3) \cdot g_N \cdot bds \\ & + (1 - x_4) \cdot h_N \cdot b_1 \cdot 0,2 + (1 - x_5) \cdot h_N \cdot b_2 \cdot 0,2 \quad (9) \\ & = y_N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (bd - (x_1 + x_2)) \cdot h_P \cdot 0,8 + (1 - x_3) \cdot g_P \cdot bds \\ & + (1 - x_4) \cdot h_P \cdot b_1 \cdot 0,2 + (1 - x_5) \cdot h_P \cdot b_2 \cdot 0,2 \\ & = y_P \quad (10) \end{aligned}$$

$$\sum_{i \in I} c_i x_i \leq B \quad (11)$$

$$x_1 \geq A \quad (12)$$

$$x_2 \geq 0 \quad (13)$$

$$x_3, x_4, x_5 \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$x_1 + x_2 \leq bd \quad (15)$$

$$x_1, x_2 \in Z \quad (16)$$

Као критеријум оптимизације узети су укупни трошкови спроведених акција које је потребно минимизовати (4). Ограничења (5), (6) и (7) се односе на граничне вредности посматраних показатеља BPK, N и P.

Ограничења (8), (9) и (10) се односе на укупну количину загађења које улази у воду, за сваки показатељ посебно. С обзиром на сложеност ограничења, на примеру првог параметра BPK₅, ће бити објашњен сваки део:

- $(bd - (x_1 + x_2)) \cdot h_{BPK} \cdot 0,8$ – представља количину загађења које праве домаћинства за која није решено питање одвођења отпадних вода, тј. за које није предузете ниједна корективна акција,
- $(1 - x_3) \cdot g_{BPK} \cdot bds$ - представља количину загађења у зависности од одлуке да ли да се изгради рукавац за сточни фонд или не,
- $(1 - x_4) \cdot h_{BPK} \cdot b_1 \cdot 0,2 + (1 - x_5) \cdot h_{BPK} \cdot b_2 \cdot 0,2$ - представља количину загађења у зависности од одлуке да ли ће се изградити монтажни објекти за депоновање чврстог отпада у два одабрана места.

Сабирањем различитих типова загађења добијамо укупно загађење, као последицу предузетих акција. С обзиром на ограничен буџет, све потребне акције не могу да буду реализоване, па је зато уведено ограничење за укупан буџет (11).

Због неприступачности терена, тј. због чињенице да се одређен број домаћинстава налази на падинама околних планина није могуће прикључење свих домаћинстава на локалну канализациону мрежу, па је дата доња граница А, која одређује број тих домаћинстава за које мора да се изгради непропусна септичка јама (12). Број израђених канализационих прикључака мора да буде цео број, већи или једнак 0 (13). Променљиве x_3 , x_4 и x_5 су бинарне (14).

Како се акције спроводе за сва домаћинства која се налазе на сливу акумулације Врутци, под претпоставком да ниједно домаћинство нема решено питање одвода отпадних вода, укупан број првог и другог типа спроведених акција мора да буде мањи или једнак од укупног броја домаћинства (12). Такође, променљиве за ове корективне акције могу да узму само целобројне вредности (13).

4. ЗАКЉУЧАК

Математички модел који је приказан у овом раду као решење даје обим акција које треба да буду спроведене како би се квалитет воде, заснован на одабраним параметрима, кретао унутар постављених граница. Мере које за сада треба предузети су:

- решавање питања одводних вода изградњом септичких јама и прикључака на канализациону мрежу у мери која је дата у неком од приказаних решења,
- изградња рукавца за напајање сточног фонда,
- изградња монтажних објеката у два одабрана места.

С обзиром на значајност воде у акумулацији Врутци и одржавање њеног квалитета на високом нивоу, потребно је да се континуално прате показатељи квалитета, да се посматра утицај људи и спољних фактора и да се на њих делује. Решавањем модела добија се решење које је оптимално за краткорочни период, а ако желимо да посматрамо проблем и решимо га на дугорочном нивоу, потребно је

извршити одређене измене у моделу. Такође потребно је скренути пажњу на еколошке аспекте који додатно треба да буду сагледани, како би се добило свеобухватније решење

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Институт за водопривреду “Јарослав Черни” Београд, (2014.), Елаборат о зонама санитарне заштите акумулације “Врутци”
- [2] [2] Попис становништва Републике Србије, Републички завод за статистику, 2011.
- [3] Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање ("Сл. Гласник РС", бр. 50/2012)



РЕШАВАЊЕ ЕКОЛОШКИХ ПРОБЛЕМА ПОМОЋУ ТЕОРИЈЕ РЕШАВАЊА ИНВЕНТИВНИХ ЗАДАТАКА

SOLVING ECOLOGICAL PROBLEMS BY APPLYING THE THEORY OF INVENTIVE TASK SOLVING

ДУШАН РАЈИЋ

Иновациони центар Технолошко - металуршког факултета, Универзитет у Београду, Београд,
rajic.dusan1@gmail.com

ОБРАД ЧАБАРКАПА

Факултет за примењени менаџмент, економију и финансије у Београду, Универзитет Привредна академија у
Новом Саду, Београд, obrad.cabarkapa@gmail.com

ЖЕЉКО КАМБЕРОВИЋ

Технолошко – металуршки факултет, Универзитет у Београду, Београд, kamber@tmf.bg.ac.rs

Резиме: У раду је приказана могућа примена еколошке матрице противречности, као једног од главних инструмената Теорије решавања инвентивних задатака (ТРИЗ), за решавање различитих еколошких проблема. Моћ ове методологије је демонстрирана на конкретном примеру, кроз технологију рециклаже отпадног уља. Потрошња велике количине електричне енергије и настанак токсичних нуспродуката представљају главне штетне функције постојећег система рециклаже применом процеса филтрирања и деминерализације. Уз помоћ ТРИЗ методологије предлаже се унапређење наведеног поступка рециклаже, применом микроталасне пиролизе у току које се троши знатно мање енергије и скраћује потребно време поступка. Добијени нуспроизводи технологијом микроталасне пиролизе се могу даље прерађивати за добијање енергије и других уљаних деривата, без опасности по животну околину.

Кључне речи: рециклажа, отпадна уља, ТРИЗ методологија, еколошка матрица.

Abstract: This paper shows a possible application of the ecological contradiction matrix (as one of the main tools of TRIZ (Theory of Inventive Task Solving)) in solving different ecological problems. The power of this methodology was demonstrated on a specific example, through the technology of oil waste recycling. The main detrimental functions of the existing recycling system, which applies the process of filtration and demineralization, are the great consumption of electrical energy and generation of toxic by-products. TRIZ methodology suggests an improvement of the above described recycling process by applying microwave pyrolysis, through which the energy consumption and process duration would be decreased. The by-products of microwave pyrolysis can be recycled furthermore for obtaining more energy and different oil derivatives, without any risks for the environment.

Key words: recycling, oil waste, TRIZ methodology, ecological matrix.

1. УВОД

Отпадна уља обухватају сва минерална или синтетичка уља или мазива, која су неупотребљива за сврху за коју су првобитно била намењена, као што су хидраулична уља, моторна, турбинска уља или друга мазива, бродска уља, уља или течности за изолацију или пренос топлоте, остала минерална или синтетичка уља, као и уљни остаци из резервоара, мешавине уљ-вода и емулзије [1]. Управљање отпадним уљима дефинисано је Законом и Уредбом [2]. Отпадно мазиво уље је свако минерално и синтетичко мазиво, индустријско, изолацијско (уље које се употребљава у

електроенергетским постројењима) и/или термичко уље (уље које се употребљава у постројењима за грејање или хлађење) које више није за употребу којој је првобитно било намењено, посебно употребљена моторна уља, машинска уља, уља из мењачких кутија, минерална и синтетичка мазивна уља, уља за пренос топлоте, уља за турбине и хидраулична уља, осим уља која се додају бензинима код двотактних мотора са унутрашњим сагоревањем [3, 4]. Према каталогу отпада [5], отпадна мазива уља сврставају се у групу 13 и представљају опасни отпад, док се отпадно јестиво уље сврстава у групу 20 и не представља опасни отпад. Отпадно мазиво уље представља

комплексну мешавину различитих врста штетних и опасних материја попут органских и неорганских једињења метала, полицикличних ароматичних угљоводоника, растварача, гликола, остатака горива итд. Због опасности коју отпадно мазиво уље представља према људском здрављу и животној средини, неопходно је да се његовим организованим прикупљањем и третманом спречи неконтролисано испуштање у животну средину.

Управљање отпадним уљима представља скуп мера које обухватају сакупљање, разврставање, транспорт, складиштење и третман отпадних уља или одлагање отпадака, односно остатака после третмана. Према хијерархији управљања отпадом, рерафинација отпадних уља (третман помоћу кога се применом физичко - хемијских поступака добијају нова базна уља), има предност у односу на друге врсте рециклаже [1]. Рециклажа је сваки процес који омогућава израду употребљивог уља рафинисањем отпадних уља, посебно одстрањивањем контамината, производа оксидације и адитива из уља. Од расположивих могућности одстрањивања у оквиру простора које обухватају чланице ЕУ, предност има регенерација као најсмисленији начин због поновне употребе и због заштите околине. Регенерација уља има велики економски значај:

- велико смањење трошкова куповином свежих уља, т.ј. скупих мазива, лож уља и биљних уља;
 - сакупљање и прерада отвара нова радна места;
 - смањење трошкова за индустрију и остале потрошаче;
 - рециклажа уља одржава светске нафтне резерве, које су ограничене;
 - рециклажа минералних и биљних уља продужава опстанак природних извора, чува околину и помаже бољем квалитету живота.
- С друге стране, нпр. инсинерација опасног отпада може проузроковати емисију супстанци које загађују ваздух, воду и земљиште и које имају штетан утицај на здравље људи [1].

Циљ рада је да се применом Теорије Решавања Инвентивних Задатака (ТРИЗ) постојеће технологије рециклаже унапреде и побољшају. У ТРИЗ методологији као „главне алатке“, користе се инвентивни принципи и матрица противречности (табела 1) [6, 7]. Утврђено је постојање укупно 40 инвентивних принципа, попут сегментација, екстракција, локални квалитет, асиметрија, универзалност, консолидација итд. Помоћу инвентивних принципа се разрешавају техничке противречности, док матрица противречности даје могућност избора најјефекснијег инвентивног принципа, који треба применити да би проблем који се разматра био решен. Противречност је проблем који се јавља унутар подсистема сложеног техничког система (аутомобила, авиона, дизалица итд.) као последица побољшања појединих параметара сложеног техничког система [6, 7].

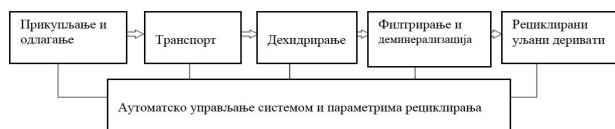
Табела 1: Шематски приказ дела матрице противречности (контрадикторности)

КАРАКТЕРИСТИКЕ		Карактеристике које се погоршавају				ПРИНЦИПИ			
		1	2	3	4			5	6
Карактеристике које се побољшавају	1	Маса покретног објекта			15, 8, 29, 34	29, 17, 38, 34	Сегментација	1	
	2	Маса стационарног објекта			10, 1, 29, 35	35, 30, 13, 2	Екстракција	2	
	3	Дужина мобилног објекта	8, 15, 29, 34			15, 17, 4	Локални квалитет	3	
	4	Дужина стационарног објекта		35, 28, 40, 29			17, 7, 10, 40	Асиметрија	4
	5	Површина мобилног објекта	2, 17, 29, 4	14, 15, 18, 4				Консолидација	5
	6	Површина објекта		30, 2, 14, 18	26, 7, 9, 39			Универзалност	6
	7	Запремина мобилног објекта	2, 26, 29, 40	1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		Уметање (бабушка)	7
	8	Запремина објекта		35, 19, 10, 14, 19, 14	35, 8, 2, 14			Антитежина	8
	9	Брзина	2, 28, 13, 38	13, 14, 8		29, 30, 34		Превентивно контраделовање	9

У левој колони ове матрице, налазе се карактеристике које се желе побољшати, а у првом реду матрице су карактеристике које се погоршавају, као последица карактеристике која се побољшава. У матрици противречности (табела 1), у пресеку утврђених карактеристика налазе се одређени бројеви који се односе на редни број инвентивног принципа који се предлаже за примену ради решавања техничке противречности. Сваки од понуђених принципа предлаже предузимање одређених активности ради могућег разрешења описаног проблема који се налази у техничкој контрадикцији. Анализом понуђених активности долази се до закључка што предузети да би разматрани проблем био разрешен [6, 7].

2. ИЗГРАДЊА МОДЕЛА ПАРЦИЈАЛНИХ ФУНКЦИЈА РЕЦИКЛАЖЕ ОТПАДНИХ УЉА ПОМОЋУ ТРИЗ

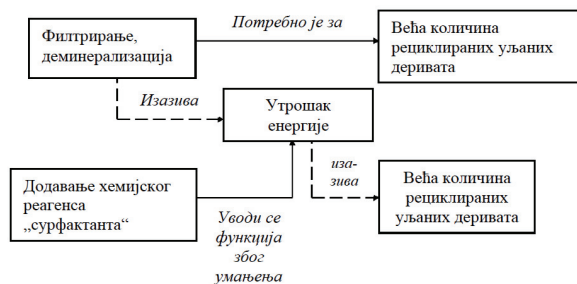
Анализом досадашњих система рециклаже отпадног уља [3, 4] долази се до процеса филтрирања и деминерализације отпадног уља који се може разложити на више потфункција које су међусобно повезане. Декомпозиција процеса рециклаже дата је на слици 1.



Слика 1: Графички приказ модела функција

Корисна функција рециклаже отпадног уља је претварање отпадног уља у уљане деривате који се могу користити на више начина, било спаљивањем или враћањем у процес производње нових деривата. Проучавањем функција рециклаже уочава се да је за

испуњење ове функције неопходна одређена количина енергије. Утрошак енергије се смањује додавањем "сурфактанта" који везује одређена хемиска једињења при чему се смањује утрошак енергије (слика 2).



Слика 2: Графички приказ корисних и штетних функција система

Разрешавање техничких противречности се врши коришћењем Алтшулерове матрице која садржи принципе за решавање противречности [6, 7]. Матрица садржи 39 техничких параметара и 40 принципа.

Прва противречност настаје када се побољшава параметар бр. 23. **Губитак материје**, а погоршава параметар бр. 13. **Стабилност конструкције објекта**. Добијени принципи за разрешење ове контрадикције су 2, 14, 30, 40.

Принцип 2а говори о томе да се од објекта могу одвојити сметајући делови или сметајуће особине. За наш систем то значи да се у процесу дехидратације одваја непожељна влага, а процесом третирања реагенсима одвајају штетни састојци од корисних, што подразумева враћање квалитета и особина уљу какве је имао пре коришћења.

Друга противречност настаје када се побољшава параметар бр. 38. **Степен аутоматизације система**, а погоршава параметар бр. 36. **Комплексност уређаја**. Добијени принципи за разрешење ове контрадикције су 15, 24 и 10. Из принципа 15, принципа динамизирања, могу се искористити подпринципи 15а. Принцип 15а говори о томе да се меродавне особине објекта или околне средине морају мењати, тако да у свакој етапи рада буду оптималне. За наш систем се то може искористити тако што се у сваком тренутку прате параметри филтрирања и деминерализације (притисак, температура, влажност, присуство хемијских и биолошких елемената). Ова модификација у софтверском делу система за надзор и управљање процесом би могла да допринесе смањењу хаварија и испада из система, као и побољшање квалитета уљаних деривата. Принцип 10а сугерише да је потребно дејство остварено (потпуно или делимично). Овај принцип можемо уочити у нашем процесу дехидратације отпадног уља јер се тим процесом одваја сувишна влага пре процеса деминерализације.

Применом Алтшулерове матрице на процес рециклаже отпадног уља, дошли смо до методе филтрирања и деминерализације. Коришћењем филтера и хемијских реагенаса "сурфактант" за филтрирање и деминерализацију отпадног уља, допринели смо смањењу штетних састојака отпадних уљаних деривата чија само мала количина од неколико литара може да контаминира и до милион литара пијаће воде.

Коришћењем Алтшулерове матрице на добијени процес филтрирања и деминерализације долази се до нових принципа противречности.

Трећа противречност настаје када се побољшава параметар бр. 32. **Лакоћа производње**, а погоршава параметар бр. 36. **Комплексност уређаја**. Сугерисани принцип за решење ове контрадикције је 27, 26, 1.

Принцип 27 говори о томе да је скуп објеката кроз асортиман јефтинијих производа замењен, при чему се од појединих карактеристика квалитета одустало. За наш систем то значи да уместо додавања сурфактаната као катализатора који је токсичан, као и његови деривати, уводимо активни угаљ који не само да је јефтинији, него и добијена чврста фаза не загађује животну средину.

Четврта противречност настаје када се поправља параметар бр. 17. **Температура**, а погоршава параметар бр. 39. **Капацитет/Продуктивност**.

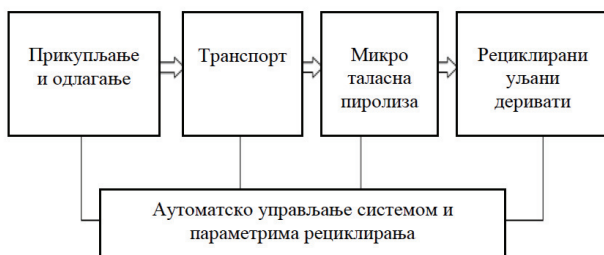
Добијени принципи за ревазилажење ове контрадикције су 15, 28 и 35.

Из принципа 28, може се искористити потпринцип 28а. Принцип 28а сугерише коришћење наизменично електричног, магнетног, односно електро-магнетног поља на објекту. За наш систем то значи да уместо топлотне енергије коју користимо за загревање уља, користимо микро таласе за дехидрирање, па самим тим смањујемо потрошњу енергије и повећавамо ефикасност система.

Пета противречност настаје када се побољшава параметар бр. 21. **Снага**, а погоршава параметар бр. 39. **Капацитет/Продуктивност**.

Добијени принципи за превазилажење ове контрадикције су 28, 35 и 34. Из принципа 28, може се искористити потпринцип 28а. Принцип 28а говори о наизменичном деловању електричног, магнетног, односно електро-магнетног поља на објекту. За наш систем то значи да уместо топлотне енергије коју користимо за скраћивање угљеничних ланаца користимо микро таласе чиме повећавамо брзину процеса скраћивања угљеничних ланаца, а самим тим повећавамо и продуктивност.

Посматрајући горе наведене противречности и принципе, може се направити нови побољшани модел функције рециклаже отпадног уља применом Микро таласне пиролизе (слика 3).



Слика 3: Графички приказ побољшаног модела функције рециклаже отпадног уља

3. ЗАКЉУЧАК

Помоћу ТРИЗ методологије утврђено је да се тренутне технологије рециклаже могу побољшати применом аутоматизације процеса и бољег надзора. Процес рециклаже применом микро таласне пиролизе (комбинације коришћења микроталаса и активног угља) је ефикаснији од процеса филтрирања и деминерализације. Процес деминерализације и филтрације се одвија на температурама изнад 550°C за шта се користи велика количина енергије и као нуспроизвод добијају се деривати сурфактанта који су токсични, док се применом микроталасне пиролизе троши далеко мања количина енергије, поступак је бржи, а добијене чврсте фазе се могу даље прерађивати без угрожавања животне средине.

Процесом микроталасне пиролизе добијају се лаки угљоводоници који се одмах могу користити, без даље прераде, било за добијање енергије или за добијање других уљаних деривата.

Микроталасна пиролиза је тренутно најзаступљенија метода одрживог развоја енергије и има тренд да

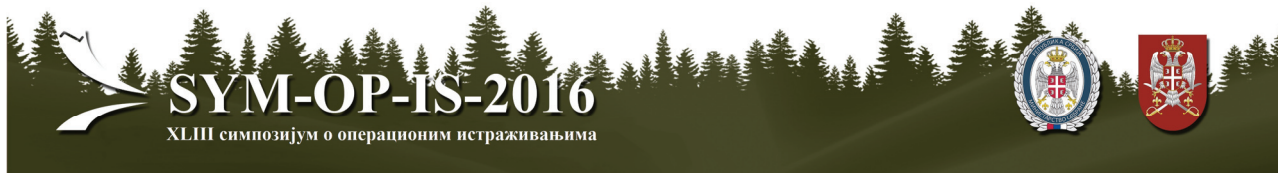
потисне све досадашње методе рециклирања отпадног уља, не само у погледу квалитета прераде, већ и у количини утрошене енергије неопходне за прераду отпадног уља.

ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је финансиски подржан од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја владе Републике Србије у оквиру пројекта ТР34034.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стратегија управљања отпадом за период 2010-2019. године, „Службени гласник РС“, број 29/2010.
- [2] „Службени гласник РС“, број 60/2008.
- [3] Митровић, Ј., Урошевић, Д. и Јанковић, В., *Искористићење отпадних уља*, Билтен Трибологија у индустрији, јун 2011.
- [4] Рац, А., *Еколошки и технички аспекти рециклирања отпадних уља за подмазивање*, Билтен Трибологија у индустрији, јун 2011.
- [5] Рецић, Н., Ђорђевић, Ј., Дукић, И., Мисајловски, Н. и Михаиловић, Л., *Каталог отпада – упутство за одређивање индексног броја*, Агенција за заштиту животне средине, Београд, 2010.
- [6] Рајић, Д., Жакула, Б. и Јовановић, В., *Увод у ТРИЗ или како постати креативан у техници*, Београд, 2006, СИГ, <http://www.sigonline.rs/files/File/knjige/uvodutriz.pdf>, 9. мај 2015.
- [7] Рајић, Д., Камберовић, Ж. и Жакула, Б., *Креативни инжењеринг*, ИЦТМФ, Београд, 2016.



TOTALNI MENAЏMENT KVALITETOM I ЕКОЛОШКИ MENAЏMENT

TOTAL QUALITY MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

ЈЕЛЕНА АНДРЕЈА РАДАКОВИЋ

Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, jelena.radakovic@fon.bg.ac.rs

НЕДЕЉКО ЖИВКОВИЋ

Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, nedeljko.zivkovic@fon.bg.ac.rs

НАТАША ПЕТРОВИЋ

Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, petrovicn@fon.bg.ac.rs

Резиме: Еколошка проблематика постаје доминантни фактор пословања у свим областима људских активности услед сталног погоршавања општег стања животне средине и квалитета живота. Као последице јављају се не само умножавања међународних и државних регулатива и контрола, већ и пораст примене формализованих менаџмент система и њихово повезивање са еколошким менаџментом. Увођењем стандардизованих и добро документованих менаџмент система који се односе на заштиту животну средину, омогућава се праћење свих еколошки релевантних фактора пословања уз могућност примене одговарајућих проактивних стратегија деловања. У такве системе спадају и Тотални менаџмент квалитетом - TQM и Тотални еколошки менаџмент квалитетом – TQEM.

Кључне речи: Тотални менаџмент квалитетом, Тотални еколошки менаџмент квалитетом, TQM, TQEM, Еколошки менаџмент, Интегрисани еколошки менаџмент.

Abstract: Environmental problems are becoming a dominant factor in business and in every area of human activities, one reason for it being the continuous worsening of the general state of the environment and the quality of life. As a consequence appear not only the international and state regulations and controls, but a rise in the application of formal management systems and their link to environmental management. By introducing standardized and well documented management systems that relate to the protection of the environment, we enable the tracking of all environmentally relevant factors of business, with the possibility of applying suitable proactive strategies of action. Those systems include Total Quality Management – TQM and Total Quality Environmental Management - TQEM.

Keywords: Total Quality Management, Total Quality Environmental Management, TQM, TQEM, Environmental Management, Integrated environmental management.

1. УВОД

Антропогени утицаји представљају главне узрочнике еколошких проблема данашњице, доприносећи не само погоршању стања животне средине већ и квалитета живота уопште. Ови проблем су достигли ниво глобалних криза као што су растућа људска популација и сиромаштво, социјални немири и могуће еколошке и природне катастрофе [1].

Последично, данашње корпорације се суочавају са повећањем захтева за одговорним еколошким и друштвеним пословањем које пред њих постављају владе, инвеститори, активисти, законодавство и сами потрошачи. Ови захтеви се односе на задовољавање потреба и жеља за очувањем и конзервацијом природне животне средине, док еколошки свесни

потрошачи преузимају активну улогу у решавању еколошких проблема тако што се баве активностима рециклирања и бирања еколошких производа приликом куповина, као и самим начином и стилем свог живота [2, 3].

Мора се нагласити да ови захтеви представљају много више од самих захтева за еколошким или еколошки подобним или зеленим производима, јер подразумевају и укључивање одговорног еколошког управљања. Ово су разлози због којих су се водеће корпорације одлучиле за прогресиве организационе промене ради интеграције еколошких принципа и заштите животне средине у њихове одлуке које се односе на производњу, померајући правце свога деловања са реактивног на проактивно. Тако, истраживања показују, да од почетка раних деведесетих година 20. века, топ менаџ-

менти великих компанија су започели са посматрањем еколошких циљева пословања као важних компоненти њиховог стратешког процеса одлучивања [4, 5]. Преко 50 мултинационалних компанија је 2000. године потписало глобални договор везан за спречавање загађења животне средине – Глобалну иницијативу за еколошко управљање (*The Global Environmental Management Initiative* - GEMI). GEMI представља глобалног лидера у развоју и стварању одрживих решења за пословања која омогућавају компанијама да побољшају не само природну животну средину већ и своје операције и пословне вредности [6]. Такође, GEMI иницијатива представља коалицију предузећа формираних 1990. године која су препозната и као творци Тоталног еколошког менаџмент квалитетом (*Total Quality Environmental Management* – TQEM), као модела створеног ради интеграције тоталног менаџмента квалитетом и еколошког менаџмента.

2. ТОТАЛНИ МЕНАЏМЕНТ КВАЛИТЕТОМ И ИНТЕГРИСАНИ ЕКОЛОШКИ МЕНАЏМЕНТ

Тотални менаџмент квалитетом (*Total Quality Management* - TQM) је широко препозната филозофија менаџмента која је усмерена на континуирано побољшање процеса унутар организације ради обезбеђивања вредности за потрошача која ће задовољити његове потребе доносећи истовремено организацији повећање профитабилности и продуктивности [7]. Ово се омогућава применом следећих стратегија: промена културе организације, увођење партиципативног управљања, едукација и тренинг, обезбеђивање континуираног побољшања, повећање комуникације, идентификовање и задовољавање интерних и екстерних потрошача, мерење и приказивање података о производима и процесима, ојачавање запослених у свим пољима која се односе на квалитет [8, 9].

Имајући у виду да концепт TQM-а подразумева усмеравање компаније да посматра квалитет производа из перспективе потрошача [10], у случају одређења компаније да имплементира у своје пословање еколошке циљеве и стратегије, њено пословање биће усмерено на производњу и продају производа и услуга које еколошки освешћеним потрошачима нуди еколошке користи као што су нпр. производи који резултују смањеним отпадом јер се могу поново користити или рециклирати, а чија производња и употреба је енергетски ефикасна и има смањене токсичне емисије.

На овај начин компаније изграђују дугорочно оријентисане односе са потрошачима који се заснивају на следећим главним принципима [11]:

- *Принцип квалитета.* Односи се на оно што је најбоље, а што компанија може да понуди потрошачу.
- *Принцип интегритета.* Односи се на вођење компаније у складу са њеним усвојеним вредностима које осликавају њене реалне пословне праксе.
- *Принцип искрености.* Односи се на транспарентност и истинитост компаније у њеним односима са

потрошачима чак и у случајевима када то не представља погодна решење за компанију.

Тако, TQM ствара и културу поверења, партиципације, тимског рада, квалитета и континуираног побољшања које компанији доноси дугорочни успех и постојање на тржишту [12].

Еволуција посматрања менаџмента квалитетом са становишта животне средине и решавања еколошких проблема повезује TQM и са интегрисаним еколошким менаџментом [13], посебно имајући у виду да одрживост, еколошки менаџмент и менаџмент квалитетом имају проактивни управљачки приступ који је усмерен на дугорочне циљеве и одржавање постигнутог учинка. У пракси им је заједничко: нула квар, нула отпад, смањење отпада, процена животног циклуса, укључивање запослених и обука [14, 15]. Такође, неколико студија показује да имплементација и добро функционисање система менаџмента квалитетом доноси организацији бенефите, те да може да буде предуслов и за успешну имплементацију пракси еколошког менаџмента односно интегрисаног еколошког менаџмент [16-18].

Када је у питању интегрисани еколошки менаџмент, треба нагласити да он представља приступ управљању који има за циљ смањење еколошких утицаја и заштиту животне средине, при чему се животна средина посматра као целина и утврђује повезаност између свих њених делова [1]. Као и у случају еколошког менаџмента, не постоји јединствена дефиниција интегрисаног еколошког менаџмента, тако да се он може дефинисати као:

- Процес формулисања, имплементације и деловања који укључује природне и људске ресурсе као саставне делове екосистема, при чему узима у обзир и друштвене, политичке, економске и институционалне факторе који делују у оквиру екосистема ради достизања специфичних друштвених циљева [19].
- Приступ управљању заштитом животне средине који се односи на повезивање различитих делова животне средине са циљем успостављања низа алата за идентификацију и управљање утицајима на животну средину уз координацију управљања надлежних институција и агенција [20].
- Оквир за холистички приступ процењивању и управљању утицајима на животну средину, аспекта активности, као и сваком фазом животног циклуса, уз општи циљ промоције одрживог развоја [21].

Примена интегрисаног еколошког менаџмента зависи од саме интеграције еколошког менаџмента у свакодневне пословне праксе компанија чиме се постиже смањење утицаја на животну средину и еколошких ризика, као и превенција загађења и одрживо управљање ресурсима. На овај начин, омогућава се спровођење, праћење и контрола пословања како би се постигле боље еколошке перформансе, већа профитабилност и усклађеност са важећим законима и прописима [1]:

- „усклађивање пословања са важећим законима и прописима о заштити животне средине,
- доприношење регионалним и националним плановима за заштиту животне средине,
- доношење одговарајућих пословних одлука које доприносе заштити животне средине,
- смањење трошкова компаније или институције путем рационалнијег коришћења ресурса и енергије.“

3. ТОТАЛНИ ЕКОЛОШКИ МЕНАЦМЕНТ КВАЛИТЕТОМ

Развој тоталног еколошког менаџмента квалитетом – TQEM омогућава побољшање стања животне средине, квалитета и одрживости, као и вредности коју потрошач добија за свој новац, уз смањење трошкова. Такође, TQEM, као пракса менаџмента пословања, утиче на смањење или потпуно избегавање загађења животне средине применом различитих техника TQM-а. Треба нагласити и да основни циљ TQEM-а представља препознавање еколошких циљева од стране компанија и њихово инкорпорирање у процесе буџетирања капитала које омогућава боље доношење одлука [21].

TQEM представља другачији проактивни приступ у односу на раније примењиване стратегије [22], тако да се TQEM може дефинисати као концепт који се заснива на економским вредностима и интегралном приступу смањењу и елиминацији свих врста отпада који су повезани са дизајном, производњом, употребом и коначним одлагањем као отпада производа и материјала [22, 23-26]. Даље, за TQEM концепт се може рећи да представља комбинацију принципа TQM-а и циљева еколошког менаџмента. Ови циљеви су [27]:

- Превенција и решавање еколошких проблема.
- Постављање ограничења.
- Институционализовање оквира за еколошка истраживања, мониторинг и еколошки менаџмент.
- Идентификација претњи за животну средину и потенцијалних еколошких ризика ради дефинисања начина њиховог превазилажења.
- Конзервација и одрживо управљање ресурсима.
- Глобално побољшање квалитета живота.

Основе TQEM-а се заснивају на чињеници да је загађење, независно од своје врсте и форме, проузроковано отпадом [28], при чему се отпад дефинише као било која активност или производ који троше ресурсе или стварају трошкове без стварања било ког облика тока вредности [29-30], односно немају употребну вредност, а најчешће се појављују у виду: чврстог, течног, гасовитог отпада, емисија и сл. [31].

Компаније које примењују TQEM, те минимизирају или избегавају стварање отпада, за позитивне последице свог пословања имају:

- ♣ смањење трошкова одлагања и збрињавања отпада,
- ♣ смањење захтева за одлагањем и збрињавањем отпада,

- избегавање еколошких казни,
- повећање профита,
- побољшање нових пословних могућности,
- повећање мотивисаности и морала запослених,
- заштиту и побољшање стања животне средине.

Као резултати примене TQEM-а у пословању јављају се и конкурентске предности компанија и побољшање њихових односа с јавношћу [32], које се огледају и у усаглашености са нормативима и законском регулативом [33, 34].

4. ЗАКЉУЧАК

У данашње време пред компаније се поставља задатак континуираног побољшања еколошких перформанси са циљем елиминације отпада и повећања ефикасности. Ово подразумева не само организационе промене ради интегрисања еколошког менаџмента у пословање и посматрање еколошких циљева као важних и неопходних елемената при доношењу одлука, већ и промене у корпоративној еколошкој стратегији која се огледа у широкој примени принципа повезивања тоталног менаџмента квалитетом и еколошког менаџмента у тотални еколошки менаџмент квалитетом – TQEM.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петровић, Н., *Еколошки менаџмент*, треће допуњено и измењено издање, Факултет организационих наука, Београд, 2016.
- [2] Thøgersen, J., "The ethical consumer. Moral norms and packaging choice", *Journal of Consumer Psychology*, 24 (1999) 439-460.
- [3] Uusitalo, L., *Environmental Impacts of Consumption Patterns*, Gower Publishing Company Ltd, Aldershot, 1986.
- [4] Lent, T., Wells, R.P., "Corporate environmental management survey shows shift from compliance to strategy", In Willig, J.T. (ed.) *Environmental TQM (2nd ed)*, McGraw Hill, New York, 1994.
- [5] Newman, J.C., Breeden, K.M., "Managing in the environmental era: Lessons from environmental leaders", *Columbia Journal of World Business*, XXVII (III and IV), Fall/Winter, (1992) 210-221.
- [6] Global Environmental Management Initiative – GEMI, *About us*, 2016, доступно на <http://gemi.org/about-us/>.
- [7] Wang, C.H., Chen, K.Y. and S.C. Chen, "Total quality management, market orientation and hotel performance: The moderating effects of external environmental factors", *International Journal of Hospitality Management*, 31(1), (2012) 119-129.
- [8] Franz, L.S., Foster, S.T., "Utilizing a knowledge based decision support system as total quality management consultant", *International Journal of Production Research*, 30(9) (1992) 2159-2171.
- [9] Ittner, C., Larcker, F.D., "Total quality management and choice of information and reward systems", *Journal of Accounting Research*, 33 (1995) 1-34.

- [10] Dean, J.W., Bowen, D.E., "Management theory and total quality: Improving research and practice through development", *Academy of Management Review*, 19(3) (1994) 392-418.
- [11] Gogolova, M., Majerova, J., "Analysis of the Communication Policy of a Car Brand Skoda in the Slovak Market", In *2nd International Conference on Management Innovation and Business Innovation (ICMIBI 2014)*, Bangkok, Thailand, Lecture Notes in Management Science, 44, (2014) pp. 9-16.
- [12] Yusof, S.R.M., Aspinwall, E., "Total quality management implementation frameworks: comparison and review", *Total Quality Management*, 11(3) (2000) 281-294.
- [13] Hunt, C.B., Auster, E.R., "Proactive environmental management: avoiding the toxic trap", *Sloan Management Review*, 31(2) (1990) 7-18.
- [14] Sroufe, R., Curkovic, S., "An examination of ISO 9000:2000 and supply chain quality assurance", *Journal of Operations Management*, 26(4) (2008) 503-520.
- [15] Krsmanovic, M., Horvat, A. and N. Zivkovic, "Analysis of the experiences in the implementation of an integrated management system", In *SYMORG: XIV International symposium new business models and sustainable competitiveness*, (2014) pp. 1505-1511.
- [16] Rusinko, C.A., "Using quality management as a bridge to environmental sustainability in organizations", *SAM Advanced Management Journal* (Autumn), (2005).
- [17] Curkovic, S., Sroufe, R. and R. Landeros, "Measuring TQEM returns from the application of quality frameworks", *Business Strategy and the Environment*, 17(2) (2008) 93-106.
- [18] Margerum, R.D., Born, S.M., "Integrated environmental management: Moving from theory to practice", *Journal of Environmental Planning and Management*, 38 (1995) 371-390.
- [19] Frieder, J. *Approaching sustainability: integrated environmental management and New Zealand's Resource Management Act*, Ian Axford Fellowship in Public Policy, New Zealand, 1997.
- [20] Department of Environmental Affairs and Tourism –DEAT, "Overview of Integrated Environmental Management", *Integrated Environmental Management, Information Series*, 0 (2004) 8-16.
- [21] Curkovic, S., Sroufe, R., "Total quality environmental management and total cost assessment: An exploratory study", *International Journal of production economics*, 105(2) (2007) 560-579.
- [22] Bhat, V.N., *Total Quality Management - An ISO 14000 Approach*, Quorum Books, Greenwood Publishing Group, P.O. Box 5007, Westport, Conn, 1998.
- [23] Willig, J., *Environmental TQM*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.
- [24] Curkovic, S., Landeros, R., "An environmental Baldrige?", *Mid-American Journal of Business*, 15(2) (2000) 63-76.
- [25] Handfield, R.B., Walton, S.V., Seegers, L.K. and S.A. Melnyk, "Green value chain practices in the furniture industry", *Journal of Operations Management*, 15(4) (1997) 293-315.
- [26] Melnyk, S.A., Handfield, R.B., Calantone, R.J., Curkovic, S., "Integrating environmental concerns into the design process: The gap between theory and practice", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(2) (2001) 189-208.
- [27] Barrow, J.C., *Environmental management for sustainable development*, second edition, Routledge, New York, 2006.
- [28] Porter, M.E., "America's green strategy", *Scientific American*, 4 (1991) 168.
- [29] Porter, M.E., Van der Linde, C., "Green and competitive: Ending the stalemate", *Harvard Business Review*, 73(5) (1995a) 120-134.
- [30] Porter, M.E., Van der Linde, C., "Toward a new concept of the environment-competitive relationship", *Journal of Economic Perspectives*, 9(4) (1995b) 97-118.
- [31] Живковић, Н., *Интегрисани системи менаџмента*. Факултет организационих наука, Београд, 2012.
- [32] Khanna, M., Anton, W., "What is driving corporate environmentalism: Opportunity or threat? ", *Corporate Environmental Strategy*, 9(4) (2002) 404-413.
- [33] Klassen, R.D., "Exploring the linkage between investment in manufacturing and environmental technologies", *International Journal of Production and Operations Management*, 20(2) (2000) 127-147.
- [34] Curkovic, S., 2003. "Environmentally responsible manufacturing: The development and validation of a measurement model", *European Journal of Operational Research*, 146 (2003) 130-155.



ИЗБОР ЛОКАЦИЈЕ ЗА ИНСИНЕРАЦИЈУ МЕДИЦИНСКОГ ОТПАДА

SELECTION OF LOCATION FOR MEDICAL WASTE INCINERATION PLANT

КРИСТИНА СТАНОЈЕВИЋ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, kristina.stanojevic@fon.bg.ac.rs

ГОРДАНА САВИЋ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, gordana.savic@fon.bg.ac.rs

НАТАША ПЕТРОВИЋ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, petrovicn@fon.bg.ac.rs

Резиме: Циљ рада је представљање методологије за одабир ефикасних локација, а затим и решавање оптимизационог проблема за добијање једне локације за инсинерацију медицинског отпада. Медицински отпад представља врсту опасног отпада, који може да остави велике последице по животну средину у случају његовог неадекватног одлагања. Република Србија тренутно свој медицински отпад одлаже на депоније или извози у државе које поседују постројења за инсинерацију отпада. У раду се најпре примењује ДЕА метода са различитим критеријумима, а затим и оптимизациони модел за добијање оптималне локације.

Кључне речи: Медицински отпад, Инсинерација, ДЕА метода, Ефикасне локације, Оптимална локација

Abstract: The aim of this paper is to propose a methodology for selection of location for facilities to incineration of medical waste. Medical waste is one special kind of hazardous wastes. If mishandled, it could cause disease spread and pollution of air and soil. The Republic of Serbia at the moment disposes medical waste on landfills or exports it to countries that have incineration facilities. In this paper firstly we use data envelopment analysis (DEA) as an approach for selection of locations, and then in order to allocate one efficient location we use optimal location problem.

Keywords: Medical waste, Incineration, Data envelopment analysis (DEA), Efficient locations, Optimal location

1. УВОД

Медицински отпадом подразумева сав отпад који потиче од медицинске, стоматолошке, ветеринарске, фармацеутске или сличне праксе, и мешавина је класичног смећа, инфективног, патоанатомског, фармацеутског и лабораторијског отпада, амбалаже, као и радиоактивног и опасног хемијског отпада. Овај отпад може да се састоји потпуно или делимично од људских и животињских ткива, крви и других телесних течности, сектрета, лекова, брисева, газа, завоја, игала, скалпела, и других оштрих инструмената [1]. Према Европском каталогу отпада медицински отпад је заведен под бројем 18 00 00 са подкуповима [2]. Медицински отпада се до 2007. године стерилише у поједним здравственим установама, и то најчешће у аутоклавима или се заједно са комуналним отпадом односи на градске депоније [1]. Министарство здравља Републике Србије је 2007. године покренуло пројекат Техничка подршка у управљању медицинским отпадом. Пројекат је финансирала Европска унија, и у 72 здравствена центра инсталирано је 78 аутоклава и дробилица за стерилизацију медицинског отпада. У Републици Србији не постоје савремена постројења за третман медицинског отпада [3]. Као последица недостатка техничких могућности и постројења за третман или одлагање медицинског отпада, на еколошки при-

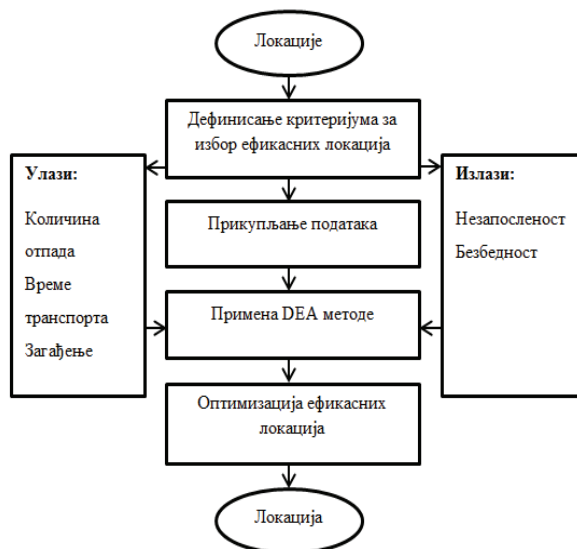
хватљив и ефикасан начин, он се извози у складу са законом и прописима којим се уређује управљање отпадом, односно међународни транспорт отпада [4]. Спаљивање (инсинерација) је одговарајући начин за елиминацију већине медицинског отпада као и неке врсте хемијског отпада, осим радиоактивног отпада. Током овог процес, са или без искоришћења топлоте настале приликом овог процеса [5], сагорљиве компоненте се претварају у гасове (CO_2 , N_2O , CO и други гасови), и пепео [1].

Циљ овог рада је представљање методологије за избор ефикасне локације за инсинерацију медицинског отпада.

2. МЕТОДОЛОГИЈА

Обезбеђење капацитета за инсинерацију органског индустријског и медицинског отпада, представља један од дугорочних циљева Републике Србије, па дефинише потребу за избором ефикасне локације. За избор оптималне локације најпре треба изабрати регион, у оквиру ког је даље потребно издвојити потенцијалне локације, које ће представљати улазе за даљу анализу. Поступак избора локације представљен је на Слици 1. Република Србија је подељена на 5 региона, који су разматрани као области у оквиру којих је потребно

наћи ефикасне локације за даљу анализу [6]. Регион Шумадије и Западне Србије заузима централно место у Републици Србији, има највише регистрованих здравствених установа, становника, градова, највећу површину и највише градова/општина које имају више од 40.000 становника. Изабран је као регион у ком је потребно одредити ефикасне локације за третман медицинског отпада. Регион Шумадије и Западне Србије има 14 градова/општина које имају више од 40.000 становника [7], од којих ће се одредити ефикасни за даљу анализу добијања једне локације тачније града за инсинерацију.



Слика 1: Поступак избора локације

Као критеријуми за одређивање ефикасних локација у оквиру региона узети су:

- Количина генерисаног медицинског отпада коју је потребно транспортовати до дате локације са свих осталих локација.
- Време трајања транспорта из свих осталих локација до дате локације. Локација треба да заузима најповољнији положај, и омогућава најбољу повезаност са осталим локацијама, захтевајући најкраће време транспорта.
- Загађење ваздуха - Како инсинерација медицинског отпада, подразумева стварање одређених гасова као што су CO₂, NO₂, CO и други гасови, потребно је бирати локације које имају најмање загађење ваздуха и тиме најмањи ризик за прелазак дозвољених граничних вредности загађујућих материја.
- Стопа незапослености - како изградња и функционисање постојења за спаљивање отпада, подразумева отварање нових радних места, треба дати предност локацији у којој је стопа незапослености највећа.
- Безбедност локације од елементарних непогода чије последице по само постројење могу представљати и опасност за загађење животне средине због опасности коју носи медицински отпад.

3. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

За регион Шумадије и Западне Србије примењена је ДЕА метода за избор ефикасних локација од могућих 14. За сваку локацију, са три улаза и два излаза, креиран је модел за одређивање ефикасности. Као улазе узети су количина транспортованог отпада, време транспорт и загађење локације, док су као излази узети незапосленост и безбедност локације од природних непогода.

Количина отпада (x_{1j})

За одређивање количине медицинског отпада који настаје на свакој локацији користи се процењени број кревета на свакој локацији, јер не постоје подаци о прецизним и тачним количинама по здравственим установама. У Републици Србији налази се 41.000 постеља ($c_{\text{постеља}}$), са просечном заузетости 72% ($c_{\text{зауз.}}$), док је процена да се по постељи генерише 0,7 кг отпада дневно ($c_{\text{отпад.пос.}}$) [3]. За одређивање броја кревета узима се укупан број становништва 7.186.862 ($c_{\text{станов.}}$) и број становника у свакој локацији ($c_{\text{станов.}j}$), који представља укупан број становника свих градова/општина из области које припадају датој локацији [7]. За добијање количине отпада коју је потребно транспортовати из осталих локација до дате локације, коришћењем следеће нотације и прорачуна добијене су количине приказане у Табели 1.

p_j - број постеља на j -тој локацији

w_j - количина отпада на j -тој локацији

$$p_j = c_{\text{постеља}} \cdot (c_{\text{станов.}j} / c_{\text{станов.}})$$

$$w_j = p_j \cdot c_{\text{зауз.}} \cdot c_{\text{отпад.пос.}}$$

$$x_{1j} = \sum_{i \neq j, i=1}^n w_i$$

Време транспорта (x_{2j})

Транспорт опасног медицинског отпада, врши се специјализованим возилима чији је капацитет превоза једнак нето маси од 80 кг отпада [8]. За сваку локацију је израчунато укупно време транспорта од свих осталих локација до ње [9], узимајући у обзир удаљеност, количину отпада која би се транспортовала и капацитет возила (односно потребан број возила) којима се врши транспорт. Применом наведених следећих прорачуна на времена потребно за транспорт добијене су вредности приказани у Табели 1.

z_j - број возила за превоз отпада из j -телокације

q - носивост возила

d_{jk} - време потребно за транспорт од j -телокације до k -телокације

$$z_j = \lceil w_j / q \rceil \Rightarrow x_{2j} = \sum_{k=1}^n z_j d_{jk}, k = 1, \dots, n$$

Табела 1: Вредности улаза и излаза

Градови	Количина отпада	Време транспорта	Загађење	Незапосленост	Безбедност
Ужице	5017,73	9291	0,805	0,1894	0,9792
Ваљево	5339,86	9749	0,56333	0,1724	0,8939
Лозница	5486,32	14292	0,5975	0,3322	0,9459
Шабац	5337,43	11742	0,602	0,2126	0,9067
Горњи Милановац	5713,94	7201	0,24044 ^[1]	0,1534	0,9387
Чачак	5358,02	7274	0,42333	0,1994	0,9441
Јагодина	5468,85	9260	0,3253 ^[1]	0,2634	0,8995
Параћин	5597,55	9723	0,6675	0,2768	1,0000
Крушевац	5316,27	9829	0,43333	0,3006	0,8246
Трстеник	5671,17	9001	0,2263 ^[1]	0,2094	0,9898
Краљево	5401,67	7720	0,8775	0,2241	0,8922
Нови Пазар	5392,39	13514	0,26873 ^[1]	0,3687	0,9011
Аранђеловац	5644,52	8910	0,24044	0,2439	0,9457
Крагујевац	5195,4	7636	0,6725	0,2829	0,9387

Загађеност (x_3)

Услед недостатака података о загађености сваке локације за сваку загађујућу материју (ЗМ), изабране су CO_2 , NO_2 и CO за материје чије се вредности посматрају. Подаци су преузети из Годишњег извештаја о стању квалитета ваздуха у Републици Србији 2014. године [10], из Извештаја 2013 [11], Извештај 2012 [12] и Извештај 2011 [13]. Остали подаци су процењени [1] на основу расположивих података о емисији ЗМ по предузећу и броја предузећа на одговарајућој локацији. На основу података о годишњој емисији извршен је прорачун за улазне вредности овог критеријума. Категорије ваздуха су подељене у зависности од тога да ли ЗМ прелази граничну или толерантну вредност [10], па је сходно томе одређен удео тренутне емисије ЗМ у односу на граничну вредност. По свакој локацији биране су максималне вредности удела, јер носе највећи ризик од преласка граничне вредности. Улазни подаци су дати у Табели 1.

A - скуп загађујућих материја

g_{aj} - количина просечног годишње емисије a -те ЗМ на j -тој локацији, $a \in A$

t_a - гранична вредност емисије a -те ЗМ, $a \in A$

$$x_{3j} = \max(g_{aj}/t_a)$$

Незапосленост (y_{1j})

Стопа незапослености представља удео незапослених ($c_{незапосл.,j}$) у укупном броју активних становника ($c_{актив.стан.,j}$) [7], па је прорачун за добијање вредности за овај излазни критеријум следећи (Табела 1):

$$y_{1j} = c_{незапосл.,j} / c_{актив.стан.,j}$$

Безбедност (y_{2j})

Безбедност је посматрана као вероватноћа да на одређеној локацији не дође до неке од следећих природних непогода: поплаве, клизишта, земљотреси и шумски пожари. Број ризичних тачака за природну

непогоду за територију дате локације [14], одређен је на основу вероватноће појаве одређеног типа елементарне непогоде. Вероватноће за земљотресе, поплаве, клизишта и пожаре износе 0,0971, 0,7734, 0,0288 и 0,1007, респективно (e_b). Ове вредности одређене су на основу њиховог броја на територији Европе [15]. Прорачун за добијање излаза је следећи, док су вредности приказане у Табели 1:

B - скуп елементарних непогода

f_{bj} - број ризичних тачака b -те елементарне непогоде на j -тој локацији

$$y_{2j} = 1 - \frac{\sum_b f_{bj} e_b}{\sum_{j=1}^n \sum_b f_{bj} e_b}$$

Применом DEA модела добијене су ефикасности и рангови локација. Добијено је седам ефикасних локација (Ужице, Горњи Милановац, Чачак, Трстеник, Нови Пазар, Аранђеловац и Крагујевац). Најмања ефикасност је 0,9012 (Ваљево), док је просечна ефикасност 0,9778.

4. ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ ЛОКАЦИЈЕ

На основу резултата DEA модела, издвајају се ефикасне локације које се даље посматрају као потенцијалне локације за изградњу спалионице. Следећи корак је одређивање на којој од тих локација је оптимално изградити спалионицу тако да укупно одступање од карактеристика идеалне локације буде минимално. Идеалном локација је хипотетичка локација чије су вредности улаза и излаза једнаке најбољим вредностима из Табеле 1. За формулисање математичког модела постављеног проблема, користиће се следећи параметри и променљиве:

a_{lj} - нормализована вредност l -тог улаза за j -ту локацију ($a_{lj} = x_{lj} / x_{l\min}$, $l \in \{1, 2, 3\}$, $j = 1, \dots, n$),

b_{rj} - нормализована вредност r -тог излаза за j -ту локацију ($b_{rj} = y_{rj} / y_{r\max}$, $r \in \{1, 2\}$, $j = 1, \dots, n$),

p_l - значај (тежина) l -тог улаза,

q_r значај (тежина) r -тог излаза.

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{ако се спалионица гради на } j\text{-тој локацији} \\ 0 & \text{у супротном} \end{cases}$$

d_l^+ - одступање од најбоље вредности l -тог улаза,

d_r^- - одступање од најбоље вредности r -тог излаза,

Математички модел формулисаног проблема има следећи облик:

$$\min f(x) = \sum_{l=1}^3 p_l \cdot d_l^+ + \sum_{r=1}^2 q_r \cdot d_r^-$$

п.о.

$$\sum_{j=1}^n a_{lj} \cdot z_j - d_l^+ = 1, l \in \{1, 2, 3\}$$

$$\sum_{j=1}^n b_{rj} \cdot z_j + d_r^- = 1, r \in \{1, 2\}$$

$$\sum_{j=1}^n z_j = 1$$

$$z_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, n$$

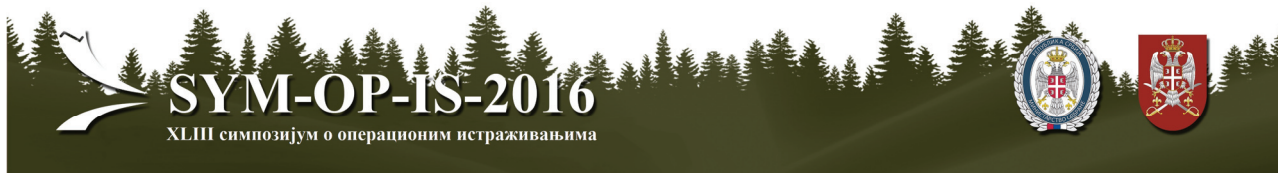
Након решавања приказаног математичког модела, само за ефикасне локације, као оптималну локацију за инсинерацију медицинског отпада добијамо Аранђеловац.

5. ЗАКЉУЧАК

Неадекватно одлагање медицинског отпада носи велике ризике за загађење животне средине, сходно томе Република Србија се треба фокусирати на проблем његовог третмана. Како се досадашњи третман медицинског отпада заснива на стелилизацији и уситњавању, а затим одлагању на депонију, или извозом, изградња спалионица је свакако неопходна. Локације на којима је могућ адекватан третман медицинског отпада, у виду спалионица, треба да задовоље различите еколошке, друштвене, економске и техничке критеријуми. Анализом ових критеријума DEA методом, добијено је седам ефикасних локација за изградњу постројења, над којим је извршена даља анализу за добијање једне ефикасне локације применом оптимизационог модела. Добијана оптимална локација може да допринесе бољем управљању медицинским отпадом на територији Републике Србије. Непостојање адекватних база података представља потешкоћу у примени приказаног приступа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Министарство здравља Републике Србије, *Национални водич за безбедно управљање медицинским отпадом*, преузето марта 2016, са http://www.komorabiohemsrbije.org.rs/pdf/vodic_medicenski_otpad.pdf, 2008.
- [2] Сл. гласник, бр. 56/2010, *Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада*, преузето марта 2016, са <http://www.pks.rs/>.
- [3] Сл. гласник, бр. 29/2010, *Стратегија управљања отпадом за период 2010-2019. године*, преузето марта 2016, са <http://www.pks.rs/>.
- [4] Сл.гласник, бр. 78/2010, *Правилник о управљању медицинским отпадом*, преузето 7. фебруара 2016, са http://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik_o_upravljanju_medicenskim_otpadom.html.
- [5] Сл. гласник, бр. 102/2010 и 50/2012, *Уредба о врстама отпада за које се врши термички третман, условима и критеријумима за одређивање локације, техничким и технолошким условима за пројектовање, изградњу, опремање, и рад постројења за термички третман отпада, поступању са остатком након спаљивања*, преузето марта 2016, са <http://www.cis.org.rs/>.
- [6] Републички завод за статистику, *Статистички годишњак Републике Србије 2015*, преузето марта 2016, са <http://webzrs.stat.gov.rs/WebSite/userFiles/file/Aktuelnosti/God2015.pdf>, 2015.
- [7] Републички завод за статистику, *Становништво према старости и полу, по насељима*, преузето 5. фебруара 2016, са <http://popis2011.stat.rs/>.
- [8] Институт за јавно здравље " Др Милан Јовановић Батут", *Превоз и третман инфективног медицинског отпада*, преузето марта 2016, са <http://www.batut.org.rs/>.
- [9] Google Maps, преузето марта 2016, са <https://www.google.rs/maps>.
- [10] Министарство пољопривреде и заштите животне средине, *Извештај о стању квалитета ваздуха у Републици Србији 2014. године*, преузето марта 2016, са <http://www.sepa.gov.rs/download/VA-ZDUH2014.pdf>, 2014.
- [11] Министарство пољопривреде и заштите животне средине, *Извештај о стању квалитета ваздуха у Републици Србији 2013. године*, преузето марта 2016, са <http://www.sepa.gov.rs/download/VAZDUH2013.pdf>, 2013.
- [12] Министарство пољопривреде и заштите животне средине, *Извештај о стању квалитета ваздуха у Републици Србији 2012. године*, преузето марта 2016, са <http://www.sepa.gov.rs/download/VA-ZDUH2012.pdf>, 2012.
- [13] Министарство пољопривреде и заштите животне средине, *Извештај о стању квалитета ваздуха у Републици Србији 2011. године*, преузето марта 2016, са <http://www.sepa.gov.rs/download/VA-ZDUH2011.pdf>, 2011.
- [14] Сектор за ванредне ситуације, *Карта ризика од елементарних непогода*, преузето марта 2016, са <http://prezentacije.mup.gov.rs/svs/HTML/karta%20rizika%20od%20elementarnih%20nepogoda.html>.
- [15] International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, *World Disasters Report 2014*, преузето марта 2016, са <http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/202014/WDR%202014>



ПРОЦЕНА РИЗИКА У ЕКОЛОШКОМ МЕНАЏМЕНТУ

RISK ASSESSMENT IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

МАРКО ЋИРОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, marko.cirovic@fon.bg.ac.rs

НАТАША ПЕТРОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, petrovicn@fon.bg.ac.rs

ДРАГАНА МАКАЈИЋ НИКОЛИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, gis@fon.bg.ac.rs

Резиме: *Управљање еколошким ризиком захтева прецизну процену хазарда и ризика. Значај процене ризика додатно се сам по себи намеће из догађаја којима је човечанство сведочио попут еколошких катастрофа које су задесиле Севесо, Острво Три Миље, Бопал, Чернобил и Фукушиму. Овде треба узети у обзир и природне катастрофе попут земљотреса, цунамија и поплава које постају све учесталија појава а које су дуго година биле занемариване као фактори ризика. Овај рад даје преглед научне литературе из наведене области истовремено наводећи и разјашњавајући постојеће терминолошке мисконцепције, ради бољег разумевања и сагледавања употребе метода процене ризика у области еколошког менаџмента.*

Кључне речи: *Процена ризика, еколошки менаџмент, еколошки ризик, процена еколошког ризика, ризик по животну средину, процена ризика по животну средину.*

Abstract: *Environmental risk management requires an accurate assessment of hazards and risks. The importance of risk assessment additionally imposes itself from the events that mankind has witnessed in recent history, such as ecological disasters that occurred in Seveso, Three Mile Island, Bhopal, Chernobyl and Fukushima. It should be taken into account that natural disasters such as earthquakes, floods and tsunamis which are becoming more frequent were for many years been neglected as risk factors. This paper provides an overview of the scientific literature in these areas at the same time providing and clarifying the existing terminological misconceptions, for better understanding and gaining an insight into the use of risk assessment methods in the field of environmental management.*

Keywords: *Risk assessment, environmental management, ecological risk, ecological risk assessment, environmental risk, environmental risk assessment.*

1. УВОД

Управљање еколошким ризиком захтева прецизну процену хазарда и ризика. Процена ризика у еколошком менаџменту обухвата структурирање научних података у циљу идентификације хазардних еколошких ситуација и проблема, ради могућности антиципирања потенцијалних еколошких проблема, установљивања приоритета који би служили као база за регулаторну контролу и корективне акције. Решавање проблема животне средине захтева конзистентан, ефикасан приступ, какав даје процена ризика (Asante-(Barrow, 2014; Duah, 1998).

2. ПРЕГЛЕД ОБЛАСТИ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА У ЕКОЛОШКОМ МЕНАЏМЕНТУ

Све више аутора истиче значај адекватно спроведене процене ризика по животну средину. Asante-Duah (1998) наводи значај процене ризика контаминираним земљишта, транспорта токсичних хемикалија и њихо-

вих последица по животну средину. Calow (2009) истиче важност процене ризика код различитих еколошких система од биолошки инвазивних врста, ризик повезан са узгајањем генетски модификованих организама, ризик повезан са еколошки одговорним пословањем, ризик при развоју еколошки подобних производа, као и важност пратеће законске регулативе. Norton и остали (2009) истичу важност постојања одговарајућег методолошког оквира приликом спровођења саме процене ризика у наведеним примерима и наводе предности коришћења *EPA (Environmental Protection Agency)* методологије. По *EPA* методологији еколошка анализа ризика укључује три фазе (US EPA, 1998):

- Планирање;
- Фаза 1 – Формулација проблема;
- Фаза 2 – Анализа;
- Фаза 3 – Карактеризација ризика.

Cardona (1999) наводи да тако спроведена процена ризика може да доведе до умањења последица еколо-

шких катастрофа великих магнитуда, а чак и до спречавања њиховог настајања. Petak и Atkisson (1982) показују да на време спроведена процена ризика повећава ниво спремности на одговор влада, локалних управа, локалних организација и служби у случајевима природних катастрофа што у многоме смањује последице таквих ситуација. Fiorino (1990) истиче важност учешћа јавности у одлукама од јавног значаја са становишта еколошког ризика, односно отварања јавних институција и система за сарадњу са грађанима када је у питању процена еколошких ризика. Под овим подразумевају отварање канцеларија за пријаву еколошких проблема од стране грађана као вид идентификације еколошких ризика, као и пријављивања последица којима су били изложени што може помоћи у мерењу ефеката еколошке деградације. Fewtrell и Bartram (2013) истичу важност процене ризика на основу смерница Светске Здравствене Организације (*World Health Organization – WHO*). Curran (1996) представља еколошки животни циклус производа који прати еколошке ефекте трајања једног производа од фазе планирања до његовог коначног збринавања, као императив еколошки одговорног пословања.

Ако се узме да процена ризика представља (ISO, 2009а):

- Идентификацију ризика;
- Анализу ризика;
- Евалуацију ризика;

где анализа ризика укључује (ISO, 2009а):

- Анализу последица;
- Анализу вероватноће појављивања нежељених догађаја;
- Анализу баријера и слојева заштите;
- Анализу нивоа ризика.

Онда из тога следи дефинисање процене ризика као идентификација, анализа и евалуација ризика који потенцијално могу да угрозе функционисање делова или целокупног система. Циљ процене ризика је да обезбеди информације базиране на чињеницама које доприносе доношењу информисаних одлука приликом одабира између више опција. Ако се узме у обзир (у најширем смислу) да област еколошког менаџмента представља управљање активностима које за циљ имају очување животне средине, онда процена ризика у еколошком менаџменту, није ништа друго него процена могућности и ефеката неиспуњења тих циљева. Конкретније, процена ризика у еколошком менаџменту подразумева процену могућности и ефеката неиспуњења циљева активности предузетих у сврху заштите животне средине, а којима еколошки менаџмент управља. Најједноставније процена ризика у еколошком менаџменту подразумева процену еколошког ризика и ризика по животну средину. Процена ризика по животну средину подразумева процес евалуације вероватноће да животна средина буде угрожена као последица излагања једном или више еколошких стресора као што су: хемикалије, промена у саставу

земљишта, болестима, инвазивним врстама и климатским променама (EPA, 1998). Процена ризика по животну средину се бави интеракцијама хазарда, људи и еколошких ресурса. Она описује људску популацију, њене активности, еколошке ресурсе и даје карактеризацију њихових узајамних утицаја који имају потенцијал ефеката широког обима, дефинише неизвесности, генерише опције за третман ризика и користи на овај начин сакупљене информације о ризику по људе и екосистем у целости (UNEP, 2001).

Процена ризика по животну средину (*Environmental Risk Assessments - ERA*) се спроводи ради испитивања ефеката ентитета или агенса по људе (процена здравственог ризика - *Health Risk Assessment - HRA*) и по екосистем (процена еколошког ризика - *Ecological Risk Assessment*). Таква процена обухвата широк спектар ризика, рецептора и њихових крајњих тачака (под крајњим тачкама у овом смислу се подразумевају критеријуми ризика који представљају тачку након које ризик постаје битан по свом утицају). Еколошка процена ризика се фокусира на биолошке, хемијске, радијацијске и физичке ризике утицаја стресора на рецепторе ризика попут људских бића (индивидуе или популацију), флору и фауну (индивидуалне врсте или целокупне екосистеме) и материјале (утицај климатских појава на насеља и материјале од којих су изграђени) (Fairman, et al., 1998).

Ризик по животну средину представља хазард или опасност са вишеструким, пробалистичким последицама по људе и животну средину, док процена таквог ризика не укључује само процену вероватноће и ефеката већ и перцепцију друштва у односу на те ризике, при чему је она културолошки релативна (Whyte & Burton, 1980). Еколошки ризик подразумева ризик по организме, популације и екосистем као последица утицаја контаминације животне средине (Barnthouse & Suter 1986). Овде је важно приметити да у српском језику не постоји придев који се односи на појам животна средина, док такав придев *environmental* постоји у енглеском језику и дефинише се као: који се односи на природни свет и утицај активности на окружење и услове у којима људи, животиње, биљке и други организми живе и функционишу (OED, 1989). У недостатку таквог придева најчешће се користи придев еколошки који у енглеском и другим језицима носи другу конотацију. Тако долази до размимоилажења у начину коришћења ова два термина у различитим деловима света: појам ризик по животну средину се у Сједињеним Америчким Државама користи да би се објаснио ризик по људе као последица контаминације животне средине. Као последица овога настаје термин еколошки ризик, како би се објаснио ризик по друге организме, популације и екосистем, као последица утицаја контаминације животне средине. Додатно на европском континенту се термин процена ризика по животну средину користи да би се објаснио ризик који је везан за појам еколошког ризика у САД, односно оно што се назива ризиком животне средине у Европи представља еколошки ризик у Америци. (Barnthouse & Suter 1986; Suter, 2006). Може се закључити да се

главна разлика одликује у томе да ли процена ризика узима у обзир и ризик који представља по људе или се задржава на процени ризика по друге врсте. Како су ефекти ризика од значаја за мултидисциплинарно поље еколошког менаџмента, ефекти који се односе и на човека и на остале чиниоце екосистема и различите друге ентитете, тако процена ризика у еколошком менаџменту узима у обзир и еколошки ризик и ризик по животну средину.

3. ЦИЉЕВИ ЕКОЛОШКОГ МЕНАЏМЕНТА

Еколошки менаџмент се односи на еколошко управљање које интегрише екологију, политику, планирање и одрживи развој. Циљеви еколошког менаџмента подразумевају (Bagtow, 2006):

- Превенцију и решавање еколошких проблема;
- Постављање лимита;
- Институционални оквир за еколошка истраживања, мониторинг и еколошки менаџмент;
- Идентификацију еколошких претњи и ризика и дефинисање начина њиховог превазилажења;
- Конзервацију и одрживо управљање ресурсима;
- Глобално побољшање “квалитета живота”.

Када се говори о еколошком менаџменту говори се о еколошком управљању, чије компоненте подразумевају активности имплементације, праћења, проверавања и контроле циљева са становишта очувања животне средине. Треба додати да област истраживања еколошког менаџмента представља и примарно разумевање интерактивних релација човек - животна средина (Петровић, 2012; Петровић, 2013). Неке од најчешћих дефиниција еколошког менаџмента су (Bagtow, 2006):

- Процес дистрибуције расположивих ресурса тако да се достигне оптимум искоришћења животне средине ради задовољења основних људских потреба на одрживим основама (Jolly, 1978).
- Приступ који превазилази менаџмент природних ресурса ради заокруживања политичког, социјалног и природног окружења... бави се питањима вредности и дистрибуције, са природним регулационим механизмом као и са интергенерацијском једнакошћу (R. Clarke, Birkbeck College, University of London).
- Менаџмент еколошких перформанси организација, тела и компанија (Sharratt, 1995).

Процена ризика у еколошком менаџменту, у својој најопштијој форми представља идентификацију ризика, анализу ризика и евалуацију ризика који могу угрозити постизање циљева еколошког менаџмента. Прецизније, процена ризика у еколошком менаџменту подразумева примену сва три наведена процеса процене ризика фактора који могу довести до неиспуњења или даљег удаљавања од постизања циљева еколошког менаџмента. Када се говори о циљевима животне средине, мисли се на општеприхваћене циљеве презервације животне средине прихваћене међународним консензусима (потписани међународни споразу-

ми и агенде), почевши од извештаја Светске комисије „Наша заједничка будућност“ познат као Брундтланд извештај (WCED, 1987). Када су у питању миленијумски циљеви развоја Уједињених нација (UN, 2015a) као један од циљева се наводи и обезбеђење одрживости животне средине. Када је у питању Агенда 21, ови циљеви су вишедимензионални и могу се груписати у неколико интердисциплинарних категорија (UN, 1992):

- социјални и економски циљеви који подразумевају опште побољшање здравља популације и смањење сиромаштва;
- конзервација и управљање ресурсима развоја који подразумевају одрживо управљање земљишним ресурсима, заустављање дефорестације, одрживу пољопривреду, конзервацију биодиверзитета, заштиту водних ресурса, управљање отпадом, управљање токсичним хемикалијама и спречавање њиховог доласка у контакт са животном средином;
- оснаживање улоге жена, младих и предузетника у постизању циљева одрживог развоја.

Поред овога, Самит Уједињених нација одржан од 25-27. септембра 2015. Године, предвиђа допуну миленијумских циљева развоја за наредних петнаест година са комплементарним факторима одрживости (UN, 2015b):

- Без сиромаштва;
- Без глади;
- Виши степен здравља популације;
- Приступ образовању вишег нивоа квалитета;
- Једнакост полова;
- Приступ слаткој пићајој воид;
- Приступачност чистих „зелених“ енергија;
- Пристојно запослење и економски раст;
- Иновације у индустрији и развој инфраструктуре;
- Смањење постојећих социјалних неједнакости;
- Одрживи градови и заједнице;
- Одговорна производња и потрошња;
- Заустављање ефекта климатских промена;
- Одрживо управљање водним биодиверзитетом;
- Заустављање дефорестације, дезертификације, деградације земљишта и биодиверзитета;
- Мир, правда и јаке институције;
- Формирање партнерстава за постизање наведених циљева.

4. ЗАКЉУЧАК

Коначно, под успешном анализом ризика у еколошком менаџменту се подразумева процена вероватноће појављивања нежељених догађаја, процена ефеката и последица догађаја и нивоа ризика, као и свих догађаја који потенцијално носе са собом ефекат који води: деградацији животне средине; нарушавању баланса екосистема; деградацији здравља становништва; неодрживом управљању природним ресурсима; напуштању концепта интер и интрагенерацијске правде; дискриминацији осетљивих социјалних група; искључивању

из процеса доношења одлука већинских група које чине жене, млади и предузетници; неodrживој производњи и потрошњи. Након прегледа литературе из области процене ризика у еколошком менаџменту и прегледа примена методологија и метода процене ризика у наведеној области долази се до закључка да иако не постоји јединствена методологија процене ризика у еколошком менаџменту ипак све варијације на ту тему, и *EPA* методологија и методологија коју дају Fairman, и остали (1998), се базирају на методологији стандарда *ISO 31000*. Може се закључити да процена ризика у еколошком менаџменту представља неопходни део управљачких приступа у заштити животне средине и решавању растућих еколошких проблема насталих људским активностима. Такође, приметно је да из ових разлога, процена ризика у еколошком менаџменту постаје све заступљенија како у политикама, тако и законским регулативама (EU, 2016).

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Asante-Duah, K., *Risk Assessment in Environmental Management - A Guide for Managing Chemical Contamination Problems*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1998.
- [2] Barnhouse, L. W., & Suter, G. W., *User's manual for ecological risk assessment* (No. ORNL-6251), Oak Ridge National Lab., TN (USA), 1986.
- [3] Barrow, C., *Environmental management for sustainable development*, Routledge, London, UK, 2006.
- [4] Barrow, C., *Environmental change and human development: controlling nature?*, Routledge Routledge, London, UK, 2014.
- [5] Calow, P. P. (Ed.), *Handbook of environmental risk assessment and management*, John Wiley & Sons, 2009.
- [6] Cardona, O. D., "Environmental management and disaster prevention: Two related topics: A holistic risk assessment and management approach", *Natural disaster management*, (1999), 151-153.
- [7] Curran, M. A., "Environmental life-cycle assessment", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(3), (1996), 179-179.
- [8] Fairman, R., Mead, C. D., & Williams, W. P., *Environmental risk assessment: approaches, experiences and information sources*, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 1998.
- [9] Fewtrell, L., & Bartram, J., "Water quality: guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water-related infectious disease", *Water Intelligence Online*, (2013), 12, 9781780405889.
- [10] Fiorino, D. J., "Citizen participation and environmental risk: A survey of institutional mechanisms", *Science, technology & human values*, 15(2), (1990), 226-243.
- [11] International Organisation for Standardisation (ISO) 31000: 2009, *Risk management—Principles and guidelines* International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2009.
- [12] International Organisation for Standardisation (ISO). International Electrotechnical Commission IEC/ISO 31010: 2009, *Risk management-risk assessment techniques*, 2009.
- [13] Jolly, V., "The concept of environmental management", In *Development Forum*, VIII(2) (1978), 13-26.
- [14] Norton, S. B., Rodier, D. J., van der Schalie, W. H., Wood, W. P., Slimak, M. W., & Gentile, J. H., "A framework for ecological risk assessment at the EPA", *Environmental toxicology and chemistry*, 11(12), (1992), 1663-1672.
- [15] Oxford English Dictionary. (OED).(1989). Oxford: Oxford university press.
- [16] Petak, W. J., & Atkisson, A. A., *Natural hazard risk assessment and public policy: anticipating the unexpected* (No. 363.34 P477). New York: Springer-Verlag, 1982.
- [17] Петровић, Н., *Еколошки менаџмент (друго издање)*, Београд, Факултет организационих наука, 2012.
- [18] Петровић, Н., *Управљање еколошком подобношћу производа*, Београд, Задужбина Андрејевић, 2013 .
- [19] Sharratt, P. (Ed.). *Environmental management systems*, Institution of Chemical Engineers, 1995.
- [20] Suter II, G. W., *Ecological risk assessment*. CRC press, 2006.
- [21] U.S. Environmental protection Agency, *Guidelines for Ecological Risk Assessment* (Report No. EPA/630/R-95/002F). Washington, DC: Risk Assessment Forum, 1998.
- [22] United Nations – UN, *The Millennium Development Goals Report 2015*, United Nations publications, 2015a.
- [23] United Nations – UN.. *The Sustainable Development Goals Report 2015*, United Nations publications, 2015b.
- [24] United Nations Environment Program (UNEP), *Technical workbook on Environmental Management Tools for Decision Analysis*, 2001. <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpub-14/1-ems5.aspon> July 21, 2001.
- [25] Whyte, A. V., & Burton, I., *Environmental risk assessment*, 1980.
- [26] World Commission on Environment and Development – WCED, *Our Common Future*, Oxford, Oxford University press, 1987.



УЛОГА МЛАДИХ У ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ

THE ROLE OF YOUTH IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

ТАТЈАНА БОРОЈЕВИЋ

Универзитет у Марибору – Факултет за организационе науке, Крањ, Словенија, tatjana.borojevic@panacea.rs

МАТЈАЗ МАЈЕТИЧ

Универзитет у Марибору – Факултет за организационе науке, Крањ, Словенија, matjaz.maletic@fov.uni-mb.si

Резиме: Млади не могу само да буду информисани у области одрживог развоја и одрживости, већ морају да остваре могућност да активно учествују у овим важним питањима, што у исто време представља и сам циљ одрживог развоја. Помагање и охрабривање учешћа младих у одрживом развоју обезбеђује потребан процес доношења одлука у стварању нових могућности за решења која се односе на изазове развоја данашњег и будућег света. Ово су разлози због којих је улога младих у одрживом развоју посебно наглашена у Агенди 21.

Кључне речи: Млади, Одрживи развој, Одрживост, Агенда 21.

Abstract: The youth should not only be informed in the field of sustainable development and sustainability, but they should gain an opportunity to actively participate in these important issues, which is at the same time, a goal of sustainable development itself. The supporting and encouraging youth participation in sustainable development provide required decision making processes in creating new opportunities for solutions to address development challenges of today and future world. These are the reasons why is the role of youth in sustainable development especially emphasized in Agenda 21.

Keywords: Youth, Sustainable development, Sustainability, Agenda 21.

1. УВОД

Дефиницију „одрживог развоја“ која се најчешће употребљава дао је Lester Brown, оснивач Worldwatch Institut-a, а она је наведена у извештају „Наша заједничка будућност“ (“Our Common Future”) и гласи: „Одрживи развој је развој који задовољава потребе садашњице, а истовремено не угрожава могућност будућих генерација да задовоље своје потребе“ [1].

У августу 2002. године одржан је Светски самит о одрживом развоју у Јоханесбургу [2]. На овом Самиту државе учеснице су се сагласиле да у што краћем временском року приступе изради и усвајању националних стратегија одрживог развоја. Тада је дефиниција о одрживом развоју последњи пут допуњена добијајући нове димензије - уз заштиту животне средине, додати су и економски и социјални циљеви. Касније, ови постављени оквири одрживог развоја су допуњени вредностима које се односе на природни, физички, економски, људски, друштвени и културни капитал [3] у којима веома важну улогу имају млади. Наиме, не само да се дошло до схватања о неопходности повећања демократског одлучивања и укључивања јавности у сва питања од виталног значаја за одр-

живост, већ и до испитивања различитих механизма за неопходно активно укључивање младих у ове процесе [4, 5].

Такође, учешће или партиципација младих се посебно истиче као значајан фактор у достизању циљева одрживог развоја датих у Агенди 21 [6], са наглашавањем отворености и партиципативности, као и улоге и значаја младих у одрживости [3, 7 - 13].

Када се говори о младима, треба истаћи да се „у пракси користе различите дефиниције младих, као и различите, углавном горње границе годишта, што је повезано са локалним приликама земље, економском ситуацијом као и културолошким карактеристикама“ [5], али да се може закључити да млади припадају генерацији од 14 до 30 година.

2. ОДРЖИВОСТ

Постоји много дискусија око тога како се може дефинисати одрживост и концепти који се повезују са њом [1, 14 - 17]. Но, и поред тога, све дефиниције одрживости треба да задовоље следеће критеријуме [14]:

- „Живот унутар граница.

- Разумевање веза које постоје између економије, друштва и животне средине.
- Једнака расподела ресурса и могућности.”

Неке дефиниције одрживости су:

- Одрживост се односи на побољшање квалитета људског живота у оквиру капацитета подршке екосистемима [18].
- Одрживост је представља дугорочно здравље и виталност региона које укључује културне, економске, еколошке и друштвене аспекте [19].
- Одрживост подразумева пристојан стандард живота данашње генерације, без нарушавања потреба будућих генерација [20].
- Одрживост се заснива једноставном принципу: све што нам је потребно за преживљавање и просперитет зависи директно или индиректно од природне животне средине. Због тога, да би се остварила одрживост, морају да се стварају и одржавају услови у којима људи и природа могу да егзистирају у продуктивној хармонији ради подршке данашњим и будућим генерацијама [21].

3. УЛОГА МЛАДИХ У ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ – АГЕНДА 21

1992. године одржана је Друга конференција о заштити животне средине и развоју - UNED (*United Nations Conference on Environment and Development*) у Рио де Женеиру на којој је по први пут указано на повезаност развоја и заштите животне средине на глобалном нивоу. Присутствовало јој је близу 10.000 званичних представника из око 160 земаља, укључујући и 116 националних политичких лидера. На њој су усвојене препоруке Брунтлендове комисије, а један од најважнијих резултата Самита било је доношење Агенде 21. Агенда 21 представља глобални консензус и политичку обавезу на највишем нивоу која се односи на развој и сарадњу у области заштите животне средине.

Агенда 21 се састоји од четири одељака:

- Одељак I – Друштвене и економске димензије.
- Одељак II – Конзервација и управљање ресурсима за развој.
- Одељак III – Ојачавање улоге главних група.
- Одељак IV – Средства имплементације.

У оквиру Одељка III препозната је и посебно наглашена улога и место младих у одрживом развоју који су описани и прецизирани у параграфима 25.1 - 25.11, посебно имајући у виду да млади чине приближно 30% светске популације, те да њихово учешће у питањима која се односе на животну средину и доношење одлука, као и имплементацију програма представља кључну компоненту за дугорочни успех саме Агенде 21 [6].

Програмска област Агенде 21 која се односи на младе наглашава унапређење улоге младих и њихово активно учешће у заштити животне средине и промоцији

економског и друштвеног развоја. Ради тога основе за акцију су дате у параграфу 25.2 и 25.3 [6]:

- Императив је да млади из свих делова света активно учествују у свим релевантним нивоима процеса доношења одлука имајући у виду да те одлуке не утичу само на њихове садашње животе, већ и на њихову будућност. Овоме треба додати да интелектуални допринос младих и могућност давања подршке представљају јединствену перспективу коју такође треба узети у обзир.
- Препоручују се бројне акције и препоруке међународне заједнице ради обезбеђења могућности да млади имају сигурну и здраву будућност која укључује квалитет животне средине, побољшан стандард живота и омогућавање образовања и запошљавања, при чему ова питања морају да буду наглашена у свим развојним плановима.

Циљеви који се односе на младе су приказани у параграфима 25.4 – 25.8. Ови циљеви се односе на дужности свих држава које треба да [6]:

- Обезбеде сарадњу са заједницама младих ради промоције дијалога између младих и владе на свим нивоима. На овај начин обезбеђује се да млади имају приступ информацијама и могућностима укључивања у одлуке владе, укључујући и оне које се односе на имплементацију Агенде 21.
- Обезбеде да више од 50% младих, са подједнаким укључивањем оба пола, буду укључени у систем одговарајућег средњошколског образовања или стручних програма и тренинга.
- Преузму иницијативе са циљем смањења степена незапослености младих, посебно у случајевима постојања диспропорције у поређењу са укупном стопом незапослености.
- Потпомогну промоцију и стварање механизма за укључивање представника младих у све процесе Уједињених нација.
- Боре се за обезбеђивање остварења људских права младих, посебно младих жена и девојака, тако што ће им пружити законску заштиту, као и вештине, могућности и помоћ ради задовољавања њихових личних, економских и друштвених тежњи и потенцијала.

4. ЗАКЉУЧАК

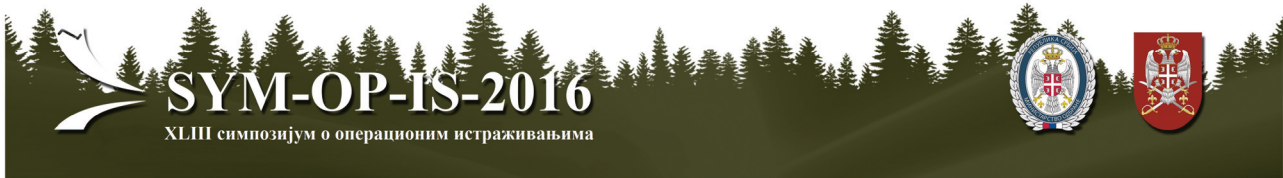
Може се закључити да млади евидентно представљају кључне стејкхолдере и учеснике у свим питањима која се односе на одрживи развој и одрживост, те да имају неопходну активну улогу у процесима доношења одлука које се односе на економски, друштвени и еколошки развој.

Такође, улога младих се мора поставити као један од кључних прилаза одрживом развоју, имајући у виду да је са једне стране, њихово укључивање значајно не само за њихово здраво одрастање, већ и за успешније и квалитетније функционисање сваког друштва [3], а са друге стране да млади представљају садашњост и будућност сваког друштва, као и извор иновација и покретачке снаге развоја [22].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] World Commission on Environment and Development – WCED. *Our Common Future*, Oxford, Oxford University Press, 1987.
- [2] Earth Summit, Приступљено са: <http://www.earthsummit2002.org/Es2002.pdf>, 2002.
- [3] Roseland, M., *Toward Sustainable Communities: Resources for Citizens and Their Governments*, Gabriola Island, Canada. New Society Publishers, 2005.
- [4] United Nations Economic Commission for Europe – UNECE, *Aarhus convention: Convention on access to information, public participation in decision making and access to justice in environmental matters*, доступно на <http://www.unece.org/env/pp/treatytext.html>, 1998.
- [5] Боројевић, Т., Петровић, Н. и Д., Вук, „Активизам младих и заштита животне средине“, Рад презентован на симпозијуму SYM-OP-IS 2015: XLII Симпозијум о операционим истраживањима, Сребрно језеро, 2015.
- [6] United Nations Sustainable Development – UNSD, *Agenda 21*, United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992, доступно на <http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>, 1992.
- [7] Berg, P.G., *Timeless City land - Building the sustainable human habitat*. Uppsala, 2009.
- [8] Chavis, D.M., Wandersman, A., "Sense of Community in the Urban Environment: A Catalyst for Participation and Community Development", *American Journal of Community Psychology*, 18(1), (1990), 55-81.
- [9] United Nations Centre for Human Settlements – UNCHS. "Sustainable Human Settlements Development in an Urbanizing World", In *The Habitat Agenda and the Istanbul Declaration*, Section IVC, New York, 1996.
- [10] Beatley, T., *The Vision of Sustainable Community, Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities*, USA, Joseph Henry Press, 1998.
- [11] Innes, J.E., Booher, D.E., "Indicators for Sustainable Communities: A Strategy Building on Complexity Theory and Distributed Intelligence", *Planning Theory & Practice*, 1(2), (2001), 173-186.
- [12] Conroy, M.M., Berke, P.R., "What makes a good sustainable development plan? An analysis of factors that influence principles of sustainable development", *Environment and Planning A*, 36, (2004), 1381-1396.
- [13] Granvik, M. *Implementation of the Habitat-agenda in local communities: Late modern living conditions and residents' interest, time for and real action in citizen participation, in a Swedish and Russian context*, Uppsala, 2005.
- [14] Pezzey, J., *Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development*, Environment Department Working Paper No. 15, The World Bank, Washington, DC, 1989.
- [15] Costanza, R. (Ed.), *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, Columbia University Press, New York, NY, 1991.
- [16] Pearce, D.W., Atkinson, G.D., "Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability", *Ecological economics*, 8 (1993) 103-108.
- [17] Costanza, R., Patten, B.C., "Defining and predicting sustainability", *Ecological economics*, 15(3), (1995) 193-196.
- [18] International Union for Conservation of Nature - IUCN, United Nations Environment Programme - UNEP, World Wildlife Fund - WWF, *Caring for the Earth: a strategy for sustainable living*, IUCN, UNEP, WWF, Gland, 1991.
- [19] Sustainable Seattle, *Vision & Mission*, доступно на <http://www.sustainableseattle.org/about-us/vision-mission/>, 2016.
- [20] United Nations – UN, *What is sustainability?* доступно на <http://www.un.org/en/sustainablefuture/sustainability.shtml>, 2016.
- [21] United States Environmental Protection Agency – EPA, *Sustainability*, доступно на <http://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what>, 2016.
- [22] *Nacionalna strategija za mlade – za period od 2015. do 2025. godine*, доступно на http://www.mos.gov.rs/mladisuzakon/attachments/article/389/nacionalna_strategija_za_mlade0101_cyr.pdf, 2015.

ЕКОНОМСКИ
МОДЕЛИ
И ЕКОНОМЕТРИЈА



ХАОТИЧАН МОДЕЛ РАСТА КАПИТАЛА THE CHAOTIC CAPITAL GROWTH MODEL

ВЕСНА Д. ЈАБЛАНОВИЋ
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет,
Немњина 6, 11080 Београд
vesnajab@ptt.rs

Резиме. Rezi-me. *Касних 1980тих, појавила се ендогена теорија економског раста. Са друге стране, теорија хаоса се користи да би се доказало да се хаотичне флукуације могу појавити у потпуно детерминистичким моделима. Основни циљ овог рада је да се креира релативно једноставан хаотичан модел раста капитала који може да генерише стабилну равнотежу, циклусе или хаос у зависности од вредности параметара хаотичног модела раста капитала.*

Кључне речи: *Капитал, Стабилност, Хаос.*

In the late 1980s, the endogenous growth theory emerged. On the other hand, chaos theory is used to prove that chaotic fluctuations can indeed arise in completely deterministic models. The basic aim of this paper is to provide a relatively simple chaotic capital growth model that is capable of generating stable equilibrium, cycles, or chaos depending on parameter values of the chaotic capital growth model.

Key words: *Capital, Stability, Chaos.*

1. INTRODUCTION

Technologies that are characterized by increasing returns to scale are not compatible with the neoclassical model of perfect competition. The neoclassical model takes the rate of technological progress as exogenous. The problem facing all attempts to endogenize technology was how to deal with increasing returns in a dynamic general-equilibrium framework.

In the late 1980s, the endogenous growth theory emerged. Romer (1986) refers to R&D positive externalities to explain this. Arrow (1962) refers to “learning by doing” effects. Lucas (1988) refers to education positive externalities to explain constant returns to capital. He provided the first human capital approach to endogenous growth. Endogenous growth theory asserts that technological change is endogenous and can be affected by R&D spending.

The AK growth models have been developed by Romer (1986, 1987, 1990), Lucas (1988), Rebelo (1991), Grossman and Helpman (1991a, 1991b), Aghion and Howitt (1992), etc.

Chaos theory is used to prove that chaotic fluctuations can indeed arise in completely deterministic models. Chaos theory reveals structure in aperiodic, dynamic systems. Chaotic systems exhibit a sensitive dependence on initial conditions.

The basic aim of this paper is to provide a relatively simple capital growth model that is capable of generating

stable equilibria, cycles, or chaos depending on parameter values.

2. THE MODEL

The chaotic capital growth model is :

$$Y_t = C_t + I_t \tag{1}$$

$$Y_t = A K_t^2 \tag{2}$$

$$C_t = \gamma Y_t + \mu K_t \tag{3}$$

$$K_{t+1} = I_t + (1 - \delta) K_t \tag{4}$$

Where : Y – real income, C – private household consumption, K – the stock of capital, I – investment, γ , μ – the coefficients of the consumption function, A – some positive constant that reflects the level of the technology, δ – rate of depreciation.

(1) shows national accounting identity ; (2) shows the production function ; (3) contains the household consumption function; and (4) shows how the capital stock changes over time; here δ is the rate of physical depreciation so that between year t and year $t + 1$, δK_t units of capital are lost from depreciation. But during year t , there is investment (I_t) that yields new capital in the following year.

Substitution gives

$$K_{t+1} = (1 - \delta - \mu)K_t - A(\gamma - 1)K_t^2 \quad (5)$$

Further, it is assumed that the current value of capital is restricted by its maximal value in its time series. This premise requires a modification of the growth law. Now, capital stock growth rate depends on the current size of capital, K , relative to its maximal size in its time series K^m . We introduce k as $k = K/K^m$. Thus k range between 0 and 1. Again we index k by t , i.e., write k_t to refer to the size at time steps $t = 0, 1, 2, 3, \dots$. Now growth rate of capital is measured as

$$k_{t+1} = (1 - \delta - \mu)k_t - A(\gamma - 1)k_t^2 \quad (6)$$

This model given by equation (6) is called the logistic model. For most choices of A, δ, γ, μ , there is no explicit solution for (6). Namely, knowing A, δ, γ, μ , and measuring k_0 would not suffice to predict k_t for any point in time, as was previously possible. This is at the heart of the presence of chaos in deterministic feedback processes. Lorenz (1963) discovered this effect - the lack of predictability in deterministic systems. Sensitive dependence on initial conditions is one of the central ingredients of what is called deterministic chaos.

This kind of difference equation (6) can lead to very interesting dynamic behavior, such as cycles that repeat themselves every two or more periods, and even chaos, in which there is no apparent regularity in the behavior of k_t . This difference equation (6) will possess a chaotic region. Two properties of the chaotic solution are important: firstly, given a starting point k_0 the solution is highly sensitive to variations of the parameters A, δ, γ, μ ; secondly, given the parameters A, δ, γ, μ , the solution is highly sensitive to variations of the initial point k_0 . In both cases the two solutions are for the first few periods rather close to each other, but later on they behave in a chaotic manner.

It is possible to show that iteration process for the logistic equation

$$z_{t+1} = \pi z_t (1 - z_t) \quad \pi \in [0, 4] \quad (7)$$

is equivalent to the iteration of growth model (6) when we use the identification

$$z_t = \left[\frac{A(\gamma - 1)}{(1 - \delta - \mu)} \right] k_t \quad (8)$$

$$\text{and } \pi = (1 - \delta - \mu) \quad (9)$$

Using (6) and (8) we obtain

$$z_{t+1} = \left[\frac{A(\gamma - 1)}{(1 - \delta - \mu)} \right] k_{t+1} =$$

$$\begin{aligned} & \left[\frac{A(\gamma - 1)}{(1 - \delta - \mu)} \right] \left[(1 - \delta - \mu)k_t - A(\gamma - 1)k_t^2 \right] = \\ & = A(\gamma - 1)k_t - \left[\frac{A^2(\gamma - 1)^2}{(1 - \delta - \mu)} \right] k_t^2. \end{aligned}$$

On the other hand, using (7), (8) and (9) we obtain

$$\begin{aligned} z_{t+1} &= \pi z_t (1 - z_t) = \\ &= (1 - \delta - \mu) \left[\frac{A(\gamma - 1)}{(1 - \delta - \mu)} \right] k_t \left\{ 1 - \left[\frac{A(\gamma - 1)}{(1 - \delta - \mu)} \right] k_t \right\} \\ &= A(\gamma - 1)k_t - \left[\frac{A^2(\gamma - 1)^2}{(1 - \delta - \mu)} \right] k_t^2. \end{aligned}$$

Thus we have that iterating (6) is really the same as iterating $z_{t+1} = \pi z_t (1 - z_t)$ using (8) and (9). It is important because the dynamic properties of the logistic equation (7) have been widely analyzed (Li and Yorke (1975), May (1976)).

It is obtained that:

- (i) For parameter values $0 < \pi < 1$ all solutions will converge to $z = 0$;
- (ii) For $1 < \pi < 3,57$ there exist fixed points the number of which depends on π ;
- (iii) For $1 < \pi < 2$ all solutions monotonically increase to $z = (\pi - 1) / \pi$;
- (iv) For $2 < \pi < 3$ fluctuations will converge to $z = (\pi - 1) / \pi$;
- (v) For $3 < \pi < 4$ all solutions will continuously fluctuate;
- (vi) For $3,57 < \pi < 4$ the solution become "chaotic" which means that there exist totally aperiodic solution or periodic solutions with a very large, complicated period. This means that the path of z_t fluctuates in an apparently random fashion over time, not settling down into any regular pattern whatsoever.

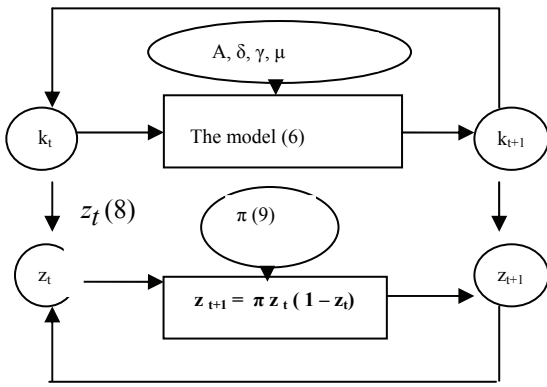


Figure 1. Two quadratic iterations running in phase are tightly coupled by the transformations indicated

3. CONCLUSION

This paper created the chaotic capital growth model. The model (6) has to rely on specified parameters A , δ , γ , μ , and initial value of capital, k_0 . But even slight deviations from the values of parameters A , δ , γ , μ , and initial value of capital, k_0 , shows the difficulty of predicting a long-term behavior of capital.

A key hypothesis of this work is based on the idea that the coefficient $\pi = (1 - \delta - \mu)$ plays a crucial role in explaining capital growth stability, where μ – the coefficient of the consumption function and δ – rate of depreciation.

References

[1] **Aghion P. and P. Howitt** “A Model of Growth through Creative Destruction” *Econometrica* LX 323-51,1992.

[2] **Arrow K.J.**, “The economic implications of learning-by-doing”, *Rev. Econ. Stud.* 29 (1) (1962) 155–173, 1962.

[3] **Grossman G.M. and E. Helpman** (1991) *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge MIT Press, 1991.

[4] **Grossman G.M. and E. Helpman** “Quality Ladders in the Theory of Growth” *The Review of Economic Studies*, Vol. 58, No. 1., pp. 43-61,1991.

[5] **Jablanović, V.** »Budget Deficit and Chaotic Economic Growth Models” Aracne editrice S.r.l, Roma , 2012.

[6] **Jablanović, V.** „Elements of Chaotic Microeconomics“, Aracne editrice S.r.l , Roma , 2013.

[7] **Li, T., Yorke, J.**, "Period Three Implies Chaos", *American Mathematical Monthly* 8: 985-992, 1975.

[8] **Lorenz, E.N.**, "Deterministic nonperiodic flow" , *Journal of Atmospheric Sciences* 20: 130-141,1963.

[9] **Lucas R.E.**, “On the mechanics of economic development” , *J. Monetary Econ.* 22 (1) 3–42, 1988.

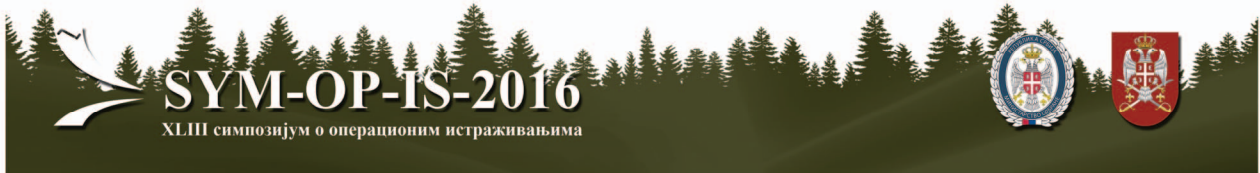
[10] **May, R.M.**, "Mathematical Models with Very Complicated Dynamics", *Nature* 261: 459-467,1976.

[11] **Rebelo, S.**, "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, vol. 99(3), pages 500-521,1991.

[12] **Romer, P.** (1986). "Increasing Returns and Long Run Growth." *Journal of Political Economy* 94(2): 1002-1037.

[13] **Romer, Paul M.**, "Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization," *American Economic Review*, vol. 77(2), pages 56-62, 1987.

[14] **Romer, P.** "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy* 98(5): S71-S102, 1990.



АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ РАВНОТЕЖНЕ ЦЕНЕ ЈЕДНОГ МОДЕЛА ПОНУДЕ И ТРАЖЊЕ

STABILITY ANALYSIS OF EQUILIBRIUM PRICE IN ONE SUPPLY AND DEMAND MODEL

КАТАРИНА КУКИЋ

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, k.mijailovic@sf.bg.ac.rs

ЈЕЛЕНА СТАНОЈЕВИЋ

Економски факултет, Универзитет у Београду, jelenas@ekof.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду дат је кратак преглед једног модела понуде и тражње и његова примена у економији, на примеру агркултуре. Разматрана је стабилност равнотежне цене. Такође су дати сви могући случајеви који настају за различита ограничења параметара. На самом крају је предложена и модификација модела, додавањем случајне компоненте, као и могуће уопштење параметара модела у види случајних величина.

Кључне речи: Модел паукове мреже, равнотежна цена, стабилност решења

Abstract: In this paper we give a short review of supply-demand model and its application in economics with example in agriculture. We considered stability of equilibrium price. Also, we give all possible cases obtained with different parameters limits. At the end, we suggest modification of the model by adding random term and possible generalization by replacing parameteres with random variables.

Keywords: Cobweb model, equilibrium price, stability of equilibrium point

1. УВОД

Познато је да постоји већи број економских модела који се описују диференцијалним једначинама и у којима за одређене вредности параметара, динамика система постаје веома компликована и укључује хаотично понашање. Нека од могућих објашњења за хаотично понашање економских система укључују и чињеницу да су у микроекономији променљиве детерминистичке, док су у макроекономији често случајне величине, [1]. Појава цикличног понашања економских система примећена још педесетих година, почела се обимније изучавати крајем шездесетих година.

Свакако, најпознатији пример релативно једноставне нелинеарне диференцијалне једначине која показује екстремно компликовано понашање упркос релативно једноставном облику је чувена *логистичка једначина* $x_{t+1} = rx_t(1 - x_t)$, $0 \leq r \leq 4$, [1],[2]. Иако је једначина што се тиче нелинеарности најједноставнија могућа – другог степена, поменути једначина је школски пример за изучавање појмова као што су цикли, бифуркације и хаос. Овде се нећемо упуштати у детаљније објашњавање претходних појмова, већ ћемо само укратко поменути оне појмове који су од важности за модел који ћемо анализирати, а који истичемо због тога што је пример нелинеарне диференцијалне једначине, на изглед можда и

компликованијег записа од логистичке једначине, али знатно једноставније динамике.

Очекивања играју важну улогу у економији. У економским динамичким системима постоји спрега између очекивања и тржишта, наиме очекивања утичу на стање на тржишту, а стање тржишта на формирање будућих очекивања. Ако са x означимо економску променљиву од интереса, онда најчешће изучавана очекивања можемо изразити као:

1. Наивна очекивања где је очекивана вредност променљиве x у тренутку t , у ознаци x_t^e једнака вредности променљиве x у претходном тренутку: $x_t^e = x_{t-1}$.
2. Адаптивна очекивања где је веза између очекиване и стварне вредности променљиве x дата формулом:
$$x_t^e = (1 - w)x_{t-1}^e + wx_{t-1}, 0 < w \leq 1.$$
3. Рационална очекивања где је субјективно очекивана вредност променљиве x у тренутку t једнака објективном математичком очекивању формираном у претходном тренутку вредности променљиве x у тренутку t : $x_t^e = E_{t-1}(x_t)$.

Осим ових користе се често и ограничена рационална, као и хетерогена очекивања. Овде ће бити представљен један модел са наивним очекивањем.

Опис модела са адаптивним очекивањем добро је познат у литератури, погледати у [3], [4].

У раду [5] на примеру агркултуре разматран је модел паукове мреже и његова примена у формирању равнотежне цене, када су задате функције понуде и тражње. Како у агркултури произвођач користи добар део своје производње, анализирано је динамичко понашање цена и показано је да приход утиче на стабилност решења система.

На даље посматрамо само два сектора - урбани и рурални сектор и претпостављамо да се производи само агркултурно добро. Пратећи [5] уведемо следеће ознаке:

Y_t - приход руралног сектора у тренутку t ,

P_t - цена агркултурног добра у тренутку t ,

S_t - понуда агркултурног добра у тренутку t ,

$D_{u,t}$ - тражња у урбаном сектору за добром у тренутку t ,

$D_{r,t}$ - тражња у руралном сектору за добром у тренутку t ,

K - ненегативни приход из других извора.

Користи се следећа дефиниција за приход у руралном сектору у тренутку t : $Y_t = K + S_t P_t$ и следеће претпоставке:

1. $S_t = S(P_t^e)$, понуда у тренутку t је функција очекиване цене у тренутку t .
2. $D_{u,t} = D_u(P_t)$, претпоставља се да је приход урбаног сектора константан и као последица, тражња у урбаном сектору је функција само цене агркултурног добра.
3. $D_{r,t} = D_r(Y_t, P_t)$, тражња у руралном сектору зависи од цене посматраног добра и прихода који од тог добра остварује рурални сектор.
4. Претпостављамо једнакост понуде и тражње, тј. важи $D_{u,t} + D_{r,t} = S_t$.

У последњу једначину може се додати на функцију тражње и случајни члан ε_t , где ε_t представља низ једнакорасподељених независних случајних величина са очекиваном вредношћу 0. Тако једначина постаје:

$$S(P_t^e) = D_u(P_t) + D_r(K + S(P_t^e)P_t, P_t) + \varepsilon_t. \quad (1)$$

2. ОПИС МОДЕЛА

У раду [5] дато је решење диференце једначине (1) за линеарне облике функција $D_u(P_t)$, $D_r(Y_t, P_t)$ и $S(P_t^e)$, у случају наивних очекивања, што даје динамику понашања цене P . За нелинеарне функције

могући приступ јесте да се разматрају линеарне апроксимације у околини тачке равнотеже. Претпостављају се следећи линеарни облици функција:

$$D_u(P_t) = a + bP_t,$$

$$D_r(Y_t, P_t) = c + dY_t + eP_t,$$

$$S(P_{t-1}) = g + hP_{t-1},$$

са следећим претпоставкама о знацима параметара:

- $a > 0$, за $P = 0$ позитивна количина се конзумира,
- $b < 0$, добро није инфериорно и крива тражње има негативан нагиб,
- $c > 0$, ово подразумева да је еластичност прихода руралног сектора мањи од 1 за агркултурним добром,
- $d > 0$, добро није инфериорно добро за рурални сектор,
- $e < 0$, крива тражње има негативан нагиб,
- $g \geq 0$, ово подразумева да је функција понуде нееластична, овај знак је важан утолико што захтевамо да се позитивна количина производи у равнотежној цени,
- $h > 0$, крива понуде има позитиван нагиб.

Посматрањем детерминистичких делова, једначина (1), постаје:

$$a + bP_t + c + d(K + (g + hP_{t-1})P_t) + eP_t = g + hP_{t-1}$$

одакле се решавањем по P_t добија:

$$P_t = \frac{-(a + c - g + dK) + hP_{t-1}}{(b + dg + e) + dhP_{t-1}}.$$

Када уведемо ознаке:

$$-(a + c - g + dK) = \alpha, h = \beta, b + dg + e = \gamma,$$

$dh = \delta$ последња једнакост постаје:

$$P_t = \frac{\alpha + \beta P_{t-1}}{\gamma + \delta P_{t-1}} = f(P_{t-1}), \quad (2)$$

где је $\beta > 0, \delta > 0$ и α, γ узимају све вредности.

Последња једначина је нелинеарна диференца једначина првог реда и за анализу стабилности решења система треба нацртати фазни дијаграм, везу између P_{t-1} и P_t . Пресек фазног дијаграма и праве кроз координатни почетак са нагибом 1 јесте равнотежна тачка. Стабилност равнотежне тачке зависи од вредности првог извода у тој тачки, тј.

уколико је $\left| \frac{dP_t}{dP_{t-1}} \right| < 1$ равнотежна тачка је стабилна,

уколико је $\left| \frac{dP_t}{dP_{t-1}} \right| > 1$, она је нестабилна. Овде треба

још напоменути да у случају када је $\left| \frac{dP_t}{dP_{t-1}} \right| = 1$

могућа је појава циклуса одговарајућег периода. Наиме, ако је $f: J \rightarrow J$ непрекидна функција, на затвореном и ограниченем интервалу J , где је $x_{t+1} = f(x_t)$ диференцијална једначина првог реда, за тачку $x \in J$ кажемо да је недегенерисана (дегенерисана) периодична тачка са периодом n ако $f^n(x) = x$ и $x \neq (=) f^k(x)$, за све (неко) $1 \leq k < n$, где је $f^n(x) = f(f(\dots f(f(x))))$ n -та композиција функције f . Ако је x једна n -периодична тачка тада је и свака тачка из колекције $\{x, f(x), \dots, f^{n-1}(x)\}$ такође n -периодична тачка а колекција се зове периодична орбита или циклус. Ако је x недегенерисана, свака тачка у циклусу је различита и кажемо да је циклус дужине или периода n .

Ако са P^* означимо равнотежну цену, она мора да задовољи једнакост $P^* = \frac{\alpha + \beta P^*}{\gamma + \delta P^*}$, уз претпоставку

да претходна једначина има најмање један реалан корен. Решавањем последње једначине, добија се:

$$P^* = \frac{-(\gamma - \beta) \mp \sqrt{(\gamma - \beta)^2 + 4\alpha\delta}}{2\delta}.$$

Због захтева да постоји бар један реалан корен, даље ћемо претпостављати да важи: $(\gamma - \beta)^2 + 4\alpha\delta \geq 0$, и како цене не могу бити негативне посматраћемо само позитивна решења, тако да важи:

$$P_t = \max\left(\frac{\alpha + \beta P_{t-1}}{\gamma + \delta P_{t-1}}, 0\right). \quad \text{Фазни дијаграм је}$$

хипербола са хоризонталном асимптомом $P_t = \frac{\beta}{\delta}$ (која је увек позитивна) и са вертикалном асимптомом

$P_{t-1} = -\frac{\gamma}{\delta}$. За испитивање монотоности

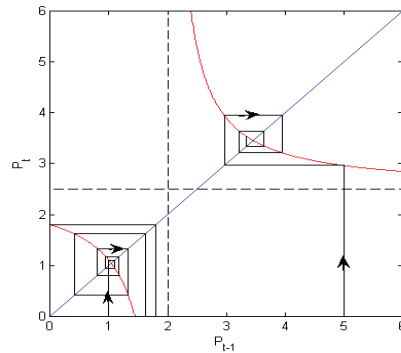
пресликавања (2) користимо да је први извод једнак

$$\frac{dP_t}{dP_{t-1}} = \frac{\gamma\beta - \alpha\delta}{(\gamma + \delta P_{t-1})^2}. \quad (3)$$

Приметимо да (3) има исти знак као и бројилац $\gamma\beta - \alpha\delta$. Даље је у раду [5] дата геометријска анализа стабилности равнотежних тачака применом методе паукове мреже односно методе графичке итерације. Подсетимо се да применом поменуте методе можемо лако геометријски закључити да ли је реч о стабилној или нестабилној равнотежној тачки на следећи начин: из почетне тачке P_0 на x оси

повучемо вертикалну праву до графика функције (2) и пресечну тачку означимо са $(P_0, f(P_0))$, затим повлачимо хоризонталну праву до пресека са правом $y=x$. Тај пресек је тачка $(P_1, P_1) = (f(P_0), f(P_0))$.

Поновимо поступак полазећи из тачке P_1 на x оси и тако наставимо. Уколико се датим поступком приближавамо ка равнотежној тачки, она је стабилна, а уколико се од равнотежне тачке удаљавамо она је нестабилна.



Слика 1: Метода графичке итерације за пресликавање (2) и вредности параметара $\alpha=-1$, $\beta=2.5$, $\gamma=-2$, $\delta=1$

3. АНАЛИТИЧКА АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ РАВНОТЕЖНИХ ТАЧАКА

Даље ћемо аналитички анализирати два могућа случаја. Анализа осталих случајева у којима се може закључити да ли је равнотежна тачка стабилна или нестабилна је потпуно истоветна. Напоменимо, када је први извод у равнотежној тачки једнак 1 не може се на описани начин утврдити стабилност те ћемо такве случајеве посебно анализирати. Случајеве када је $P_1^* = 0$ или $P_2^* = 0$ нећемо разматрати јер претпостављамо да је цена позитивна величина.

Анализирајмо случај када је $\gamma < 0$ и функција опадајућа, тј. $\gamma\beta - \alpha\delta < 0$. Како β узима само позитивне вредности, то је $\gamma < \beta$. У овом случају посебно треба разматрати подслучајеве, када је $\alpha < 0$ и када је $\alpha > 0$. Размотримо овде детаљно случај $\alpha < 0$.

Нека су:

$$P_1^* = \frac{-(\gamma - \beta) - \sqrt{(\gamma - \beta)^2 + 4\alpha\delta}}{2\delta},$$

$$P_2^* = \frac{-(\gamma - \beta) + \sqrt{(\gamma - \beta)^2 + 4\alpha\delta}}{2\delta},$$

равнотежне тачке, које су обе позитивне, због $\alpha < 0$.

Размотримо прву равнотежну тачку P_1^* у случају када је $\beta > -\gamma$. Из услова $\gamma\beta - \alpha\delta < 0$ изводи се да је

$$\beta + \gamma < \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}, \text{ одакле је}$$

$$2(\beta + \gamma)(\beta + \gamma - \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}) < 0.$$

Како се из последње неједнакости добија

$$-(\gamma\beta - \alpha\delta) > \left(\frac{\beta + \gamma - \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}}{2} \right)^2,$$

што је еквивалентно са тим да је први извод, $\frac{dP_t}{dP_{t-1}} = \frac{\gamma\beta - \alpha\delta}{(\gamma + \delta P_{t-1})^2}$ у тачки P_1^* по апсолутној

вредности већи од 1, дакле P_1^* је нестабилна равнотежна тачка.

Размотримо даље равнотежну тачку P_2^* . У случају када је $\beta > -\gamma$, важи

$$2(\beta + \gamma)(\beta + \gamma + \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}) > 0,$$

одакле се добија

$$-(\gamma\beta - \alpha\delta) < \left(\frac{\beta + \gamma + \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}}{2} \right)^2, \text{ што}$$

је еквивалентно са тим да је први извод, $\frac{dP_t}{dP_{t-1}} = \frac{\gamma\beta - \alpha\delta}{(\gamma + \delta P_{t-1})^2}$ у тачки P_2^* по апсолутној

вредности мањи од 1, дакле P_2^* је стабилна равнотежна тачка. Овај случај приказан је на Слици 1.

У случају када је $\beta < -\gamma$, важи неједнакост

$$2(\beta + \gamma)(\beta + \gamma - \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}) > 0, \text{ одакле}$$

се добија

$$-(\gamma\beta - \alpha\delta) < \left(\frac{\beta + \gamma - \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}}{2} \right)^2,$$

што је еквивалентно са тим да је први извод, $\frac{dP_t}{dP_{t-1}} = \frac{\gamma\beta - \alpha\delta}{(\gamma + \delta P_{t-1})^2}$ у тачки P_1^* по апсолутној

вредности мањи од 1, тј. P_1^* је стабилна равнотежна тачка.

У истом случају када је $\beta < -\gamma$, размотримо стабилност тачке P_2^* . Из услова $\gamma\beta - \alpha\delta < 0$, следи

да је $\beta + \gamma + \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta} > 0$, те важи неједнакост

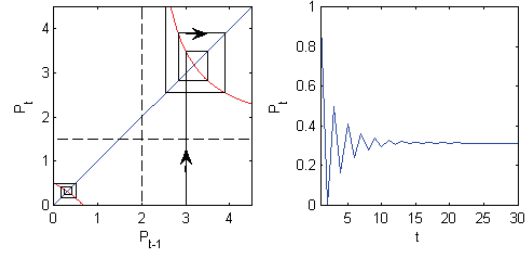
$$2(\beta + \gamma)(\beta + \gamma + \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}) < 0.$$

Одатле следи

$$-(\gamma\beta - \alpha\delta) > \left(\frac{\beta + \gamma + \sqrt{(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta}}{2} \right)^2,$$

што је еквивалентно са тим да је први извод, $\frac{dP_t}{dP_{t-1}} = \frac{\gamma\beta - \alpha\delta}{(\gamma + \delta P_{t-1})^2}$ у тачки P_2^* по апсолутној

вредности већи од 1, тј. P_2^* је нестабилна равнотежна тачка. Овај случај приказан је на Слици 2.



Слика 2: Метода графичке итерације за пресликавање (2) и временска серија P_t у зависности од t за вредности параметара $\alpha=-1, \beta=1.5, \gamma=-2, \delta=1, P_0 = 1$

Даље су у Табели 1 и Табели 2 дати сви случајеви од интереса и врста стабилности равнотежних тачака.

Табела 1: Врста равнотежне тачке за случај $\gamma > 0$

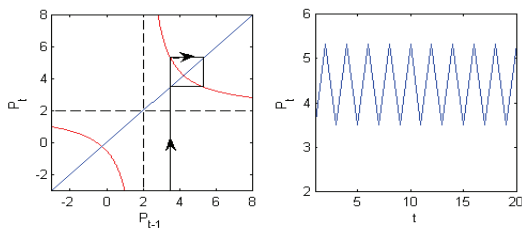
	$\gamma > 0$		
$\gamma\beta - \alpha\delta < 0$			
(∇)	$\gamma \geq \beta$		
		$\alpha > 0^1$	$P_1^* < 0$
			P_2^* -стабилна
	$\gamma < \beta$		
		$\alpha > 0$	$P_1^* < 0$
			P_2^* -стабилна
$\gamma\beta - \alpha\delta > 0$			
(\nearrow)	$\gamma > \beta$		
		$\alpha > 0$	$P_1^* < 0$
			P_2^* -стабилна
		$\alpha < 0$	$P_1^*, P_2^* < 0$
	$\gamma < \beta$		
		$\alpha > 0$	$P_1^* < 0$
			P_2^* -стабилна

¹ За анализу је релевантан само случај $\alpha > 0$, јер се из услова о опадајућој функцији добија $\alpha > \frac{\beta\gamma}{\delta}$ ($\beta, \gamma, \delta > 0$).

		$\alpha < 0$	P_1^* - нестабилна
			P_2^* -стабилна
	$\gamma = \beta$		
		$\alpha > 0^2$	$P_1^* < 0$
			P_2^* -стабилна

Остало је да анализирамо ситуацију када је први извод у равнотежној тачки једнак 1. То се дешава рецимо за $\gamma < 0$, $\gamma\beta - \alpha\delta < 0$, $\gamma < \beta$, $\alpha > 0$ и $\beta = -\gamma$, што је један случај из Табеле 2. Како је, за произвољну почетну вредност $P_0 > -\frac{\gamma}{\delta}$ (десно од вертикалне асимптоте)

испуњено $f(f(P_0)) = P_0$ закључујемо да је у питању цикл периода 2, што је представљено на Слици 3. На исти начин анализирају се остали случајеви када је први извод у равнотежној тачки једнак 1. Напоменимо да ће у случају нестабилне равнотежне тачке за вредност P_t између нуле функције и вертикалне асимптоте доћи до формирања циклуса периода 2, као што је приказано на Слици 1.



Слика 3: Метода графичке итерације за пресликавање (2) и вредности параметара $\alpha=1$, $\beta=2$, $\gamma=-2$, $\delta=1$, $P_0 = 3.5$ и временска серија P_t у зависности од t

Табела 2: Врста равнотежне тачке за случај $\gamma < 0$

		$\gamma < 0$		
$\gamma\beta - \alpha\delta < 0$				
(∇)	$\gamma < \beta$			
		$\alpha > 0$	$P_1^* < 0$	
			$\beta > -\gamma$	P_2^* -стабилна
			$\beta < -\gamma$	P_2^* нестабилн а
			$\beta = -\gamma$	P_2^* -! ³
		$\alpha < 0$		
			$\beta > -\gamma$	P_1^* нестабилн а

² За анализу је релевантан само случај $\alpha > 0$, због захтева да једначина има бар један реалан корен.

³ Цикл периода 2.

				P_2^* -стабилна
			$\beta < -\gamma$	P_1^* -стабилна
				P_2^* нестабилн а
			$\beta = -\gamma$	P_1^*, P_2^* -!
$\gamma\beta - \alpha\delta > 0$				
(∇)	$\gamma < \beta$			
		$\alpha < 0^4$		
			$\beta > -\gamma$	P_1^* нестабилн а
				P_2^* -стабилна
			$\beta < -\gamma$	P_1^* -стабилна
				P_2^* нестабилн а
			$\beta = -\gamma^5$	P_1^* -стабилна
				P_2^* -стабилна

5. ЗАКЉУЧАК

Анализирани модел представљен је нелинеарном диференцијалном једначином чија је анализа мање компликована од анализе модела описаних логистичком једначином или њој сличним, уз наивно очекивање. Стога, сматрамо да би била корисна и анализа модела (2) са другим типовима очекивања, као и разматрање модела добијеног заменом константних параметара случајним величинама.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kelsey, D., "The economic of chaos or the chaos of economics", *Oxford Economic Papers*, 40 (1988) 1-31.
- [2] Strogatz, S., *Nonlinear dynamics and chaos*, Westview Press, 2000.
- [3] Ezekiel, M., "The Cobweb Theorem", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 52, No. 2 (1938) 255-280.
- [4] Narlove, M., "Adaptive Expectation and Cobweb Phenomena", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 73, No. 2 (1958) 227-240.
- [5] Nowshiravani, V., "The cobweb phenomenon in subsistence agriculture: a theoretical analysis", *Economic Growth Center, Center Discussion paper no. 14* (1966), Yale University.

⁴ За анализу је релевантан само случај $\alpha < 0$, јер се из услова

о растућој функцији добија $\alpha < \frac{\beta\gamma}{\delta}$ ($\beta, \delta > 0, \gamma < 0$).

⁵ Ово важи уз услов да једначина има реална и различита решења, тј. $(\beta - \gamma)^2 + 4\alpha\delta > 0$.

ЕЛЕКТРОНСКО
ПОСЛОВАЊЕ



УПОТРЕБА МОБИЛНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У СРЕДЊОШКОЛСКОМ ОБРАЗОВАЊУ

USE OF MOBILE TECHNOLOGIES IN SECONDARY EDUCATION

ДАНИЈЕЛА СТОЈАНОВИЋ

Пета економска школа "Раковица", Београд, daniijela.st@gmail.com

ЗОРИЦА БОГДАНОВИЋ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, bogdanovic.zorica@fon.bg.ac.rs

НАТАЛИЈА НЕДЕЉКОВИЋ

Београдска берза а.д., Београд, natalija.nedeljkovic@belex.rs

Резиме: Циљ овог рада је анализа начина и преференција употребе мобилних технологија и, у оквиру њих, посебно, друштвених мрежа, за потребе образовања међу средњошколском популацијом у Србији. У оквиру рада представљено је истраживање спроведено у априлу 2016. године, о употреби мобилних технологија од стране ученика Пете економске школе из Београда. Добијени резултати показали су да трендови коришћења информационих технологија у домаћим средњим школама на приближно истом нивоу као и у сличним истраживањима спроведеним у другим државама. Такође, резултати истраживања показују и да постоји простор за унапређење примене савремених информационих технологија у процесу образовања.

Кључне речи: средњошколско образовање, мобилне технологије, друштвене мреже

Abstract: The aim of this paper is to analyze practice and preferences of use of mobile technologies and, within them, in particular, social networks, in educational purposes, among secondary school pupils in Serbia. The research conducted in April 2016, about the use of mobile technology by pupils 5th Economic School in Belgrade, is presented in the paper. The results showed that trends in the use of information technology in local secondary schools is on about same level as in similar studies conducted in other countries. Also, the survey results show that there is room for improving the use of modern information technology in the educational process.

Keywords: Secondary school education, mobile technologies, social networks

1. УВОД

Друштвене мреже и мобилне технологије постале су саставни део живота великог дела светског становништва. Историјски посматрано мобилне технологије и друштвене мреже првобитно су коришћене за забаву, личне потребе и директну комуникацију. Временом, ове технологије добиле су већу примену у пословној комуникацији и сарадњи. Данас је све присутнији и тренд коришћења ових алата у настави, као и све веће интересовање академске заједнице и раст броја разноврсних истраживања у вези са овим темама. Основна идеја је достизање нивоа у ком се мобилни уређаји и апликације не сматрају проблемом у процесу едукације, већ као алат доступан предавачима за унапређење едукативне праксе.

Употреба мобилних технологија и друштвених мрежа омогућава комбиновање и интеграције неколико нивоа процеса учења који су до сада били изоловани:

- Долази до промена у времену и месту учења – учење није више везано само за радни сто или учионицу, учити се може континуирано, на било ком месту где постоји интернет приступ; [1]
- Долази до комбинације формалног и неформалног учења и комбинације индивидуалног и учења са другима; [2]
- Омогућава се комбиновање и сагледавање знања из различитих наставних области у пракси.

Имајући у виду специфичности српског образовног система, у оквиру ког је пре свега неопходно усклађивање са светским трендовима, претпоставка је да постоји простор за укључивање комуникације размене знања путем друштвених мрежа у средњошколском образовању, посебно у стручним средњим школама и, у оквиру њих, научним областима које карактерише динамичан развој.

На бази сличних, претходно спровођених истраживања у другим школским системима, за потребе овог рада спроведено је истраживање о пракси и преферен-

цијама коришћења мобилних технологија и друштвених мрежа од стране ученика средњих стручних школа у Србији, како би се на основу добијених резултата идентификовале сличности и разлике са искуствима из других држава и уочио простор за будуће најефикасније унапређење праксе коришћења ових технологија у процесу едукације. Такође, с обзиром на то да је анализа спроведена у оквиру стручне средње школе економског усмерења, добијене резултате могуће је упоредити и са другим стручним средњим школама, како би се упоредили добијени резултати у зависности од профила школе и садржаја наставе.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Академска истраживања коришћења мобилних уређаја и друштвених мрежа у области едукације интензивирани су од 2005. године, при чему је најчешће анализирана студенска популација, а након тога ученици основних и средњих школа. Најчешће анализирани друштвене мреже коришћене у процесу образовања су *Facebook*, блогови, *Twitter* и *Instagram*. [3] Прва истраживања су спроведена на територији развијених западних земаља, на којима су мобилне технологије прво и заживеле, док скорија истраживања све више покривају области друштва у развоју. Поред анализа праксе и ефикасности спровођења процеса едукације путем мобилних технологија и друштвених мрежа, велики број истраживања укључивао је и израду посебних апликација за специфичне потребе образовања на анализираном узорку. Крајњи циљ примене појединачних истраживања најчешће је идентификован у унапређењу комплетног државног образовног система, након синхронизоване едукације предавача, унапређења приступа мобилним технологијама и интернету и мотивисању ученика и студената да савремене технологије користе за потребе стицања и размене знања и упознавања са наставним програмом и активностима.

Највећи број до сада спроведених истраживања о коришћењу мобилних технологија у области едукације показао је да ови уређаји позитивно утичу на ефикасност учења у средњим школама и на факултетима. [4]

Претходна истраживања показала су да ученици и студенти модерне технологије користе најмање у области едукације и учења, иако, наводе да су врло отворени за будућу примену ових технологија у учењу. [5] Када је реч о начину на који студенти и ученици користе мобилне технологије у области едукације досадашња академска истраживања показала су да се интернет садржаји међусобно размењују, комбинују и креирају се нови, од стране корисника. [6] Такође, путем интернета омогућава се заједнички рад на решавању задатих проблема од старне предавача. Поред процеса учења и размене знања мобилне технологије се могу користити и за потребе лакше и ефикасније организације наставних активности и комуникације професора и ученика. До пораста интензитета коришћења модерних технологија у области едукације долази са већим ангажманом предавача и њиховим

укључивањем на друштвене мреже, које ученици и студенти већ користе. Друштвени медији су се показали посебно ефикасним у специфичним стучним школама, као што су школе за информационе технологије, учење језика или медицинске школе.

Иако се од употребе мобилних технологија и социјалних мрежа у области едукације очекују велике користи, пре свега јер се полази од претпоставке да су ученици већ упућени на ове инструменте комуникације и да их радо користе и прихватају, поједина истраживања су показала да понекад постоји и одбојност у коришћењу ових технологија за учење од стране ученика и студената, због жеље да се изолоују приватни и „ученички“ живот и страха од преоптерећености увек доступним и практично непрегледним садржајима. Такође, велики број предавача, али и шире друштвене заједнице, обазриво приступа коришћењу модерних технологија у образовне сврхе, због страха од различитих врста злоупотребе, варања у процесу учења и других психолошко-педагошких и социјалних последица које коришћење ових технологија, и повезивање професора и ученика путем друштвених мрежа, може имати.

3. ИСТРАЖИВАЊЕ УПОТРЕБЕ МОБИЛНИХ ТЕХНОЛОГИЈА МЕЂУ СРЕДЊОШКОЛЦИМА У СРБИЈИ

Да бисмо анализирали употребу мобилних технологија, и посебно друштвених мрежа међу средњошколском популацијом у Србији, априла 2016. године спровели смо истраживање у Петој економској школи „Раковица“ у Београду. Истраживање је урађено на основу Упитника о употреби мобилних телефона и друштвених мрежа у едукативне сврхе.

Упитник је конципиран на начин да омогући свеобухватну анализу употребе мобилних технологија међу средњошколцима. Постављено је укупно тридесет питања, груписаних на следећи начин:

- а) мобилни телефони – број мобилних телефона, учесталост и сврха коришћења;
- б) Интернет на мобилном телефону – време и место коришћења, учесталост, сврха и начин коришћења за стицање нових знања, информисање и образовне сврхе;
- в) коришћење друштвених мрежа преко мобилних телефона;
- г) таблет уређаји – учесталост коришћења;
- д) Интернет на таблет уређајима – сврха и начин коришћења за стицање нових знања, информисање и образовне сврхе;
- ђ) улога професора у подстицању на употребу мобилних телефона у образовне сврхе;
- е) предлози ученика за веће коришћење мобилних телефона у образовне сврхе.

На наведени упитник одговарало је укупно 37 ученика из једног одељења трећег и три одељења четвртог разреда, који су у школи остварили врло добар или одличан успех.

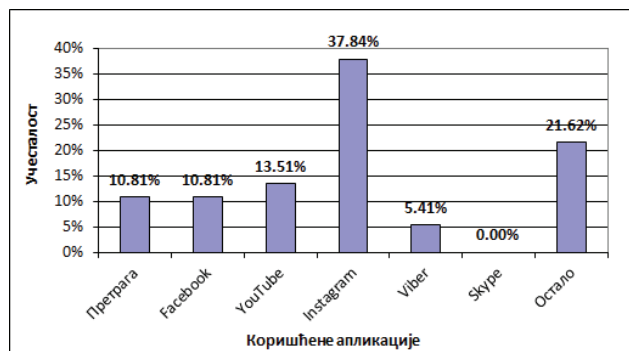
Истраживањем је било обухваћено 25 девојчица и 12 дечака, старости између 17 и 19 година.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Коришћење мобилних технологија и друштвених мрежа

Резултати спроведеног истраживања показали су да средњошколци мобилне уређаје користе интензивно, тако да, од укупног броја анкетираних ученика, њих 94,59% мобилни телефон користи више пута у току дана, док преосталих 5,41% овај уређај користи једанпут дневно. Слично као и у већини других држава данас, мобилни уређаји користе се пре свега за приступ интернету, и то у проценту од 75,68%, док на телефонирање, писање порука, слушање музике, играње и друге сврхе одлази преосталих 24,32% времена проведеног у коришћењу ових уређаја.

Када је реч о друштвеним мрежама и интернет базираним алатима за комуникацију путем мобилних телефона, истраживање је показало да испитани средњошколци највише користе *Instagram* (37,84%), док је употреба осталих алата уједначена, уз евидентан изостанак праксе коришћења *Skype* сервиса за комуникацију (Слика 1).



Слика 1. Учесталост коришћења различитих апликација путем мобилног телефона

Резултати спроведене анкете такође су показали да ученици мобилне телефоне најчешће користе код куће (78,38%), као и у поподневним и вечерњим часовима (72,97%).

Анкетирани ученици таблет уређаје користе ретко, односно 67,57% испитаника изјавило је да таблет уређаје никада не користи, док 13,51% њих таблет користи једном или два пута недељно. За разлику од уочене праксе мобилних уређаја, где је Инстаграм најчешће коришћена апликација, на таблет уређајима добијени одговори показују да ученици ове уређаје користе у „Остале“ сврхе, док је друга по реду учесталост, од 25%, евидентирана у употреби таблета за игрице и слушање музике.

Коришћење мобилних технологија и друштвених мрежа за потребе општег информисања

Спроведена анкета показала је да ученици у великој мери користе мобилне уређаје за потребе информисања. Приближно 60% анкетираних се о најразличитијим темама информисе путем мобилног телефона најмање једанпут дневно, док додатних 24,32% испитаника мобилни телефон за ове потребе користи 4-5 пута недељно.

Када је реч о областима за које се ученици најчешће интересују путем мобилних телефона, структура добијених одговора приказана је у Табели 1.

Табела 1: Учесталост коришћења мобилних уређаја за потребе информисања о различитим областима

Област	Врста уређаја	
	Телефон	Таблет
Политика	2.70%	5.26%
Економија	0.00%	0.00%
Црна хроника	2.70%	5.26%
Спорт	21.62%	0.00%
Култура и уметности	0.00%	0.00%
Опште информације	27.03%	21.05%
Забава	45.95%	68.42%
Политика	2.70%	5.26%

Коришћење мобилних технологија и друштвених мрежа у образовне сврхе

Резултати, детаљно приказани у Табели 2, показују су да испитани ученици ретко користе интернет на мобилном телефону или таблет уређајима за стицање нових знања током учења у вези са наставним програмом и за информисање у вези са школским активностима. Добијени резултати потврђују и да је учесталост коришћења друштвених мрежа у ове сврхе још ређа. Ови резултати слични су резултатима добијеним у другим истраживањима на ову тему.

Испитаници нова знања током учења коришћењем Интернета на мобилном телефону стичу највише преко стручних сајтова (51,43%), затим преко популарних сајтова, као што је *Wikipedia* (31,43%) и преко друштвених мрежа (17,14%).

Табела 2: Учесталост коришћења мобилних уређаја за стицање нових знања

Коришћење Интернета за добијање информација у вези са школским активностима	Врста уређаја	
	Телефон	Таблет
Мало (једном недељно) или уопште не користи	59.46%	92.00%
Коришћење друштвених мрежа за добијање информација у вези са школским активностима	Врста уређаја	
	Телефон	Таблет
Стално (више пута дневно)	5.41%	4.00%
Мало (једном недељно) или уопште не користи	48.65%	92.00%

Коришћење друштвених мрежа за стицање нових знања и информисање у вези са наставним програмом у школи	Врста уређаја
	Телефон
Стално (више пута дневно)	8.11%
Мало (једном недељно) или уопште не користи	67.57%

Однос и комуникација са предавачима

Резултати истраживања показали су да чак 83,78% анкетираних ученика сматра да професори не подстичу или чак уопште не подстичу употребу мобилних уређаја у образовне сврхе. Свега 2,70% анкетираних одговорило је да професори много подстичу употребу мобилних уређаја у образовне сврхе, али нико није оценио да се то и „стално подстиче“.

Истовремено, чак 67,56% анкетираних ученика сматрало је да употребу мобилних уређаја у образовне сврхе професори треба више да подстичу.

Када је о комуникацији ученика са професорима у школи реч, истраживање је показало да се она најчешће одвија путем и-мејлова (58,33%), СМС-а (22,22%) и мобилних телефона приликом телефонирања (5,56%).

Од 37 анкетираних ученика, нико није навео да комуникацију са професорима у школи обавља преко *Skype* или *Facebook* сервиса, иако је реч о Интернет комуникацијама веома широке примене и могућности.

5. ЗАКЉУЧАК

Сprovedено истраживање показало је да је пракса коришћења мобилних технологија и друштвених мрежа међу средњошколцима у Србији на приближно једнаком нивоу као и у другим образовним системима где су слична истраживања спроведена.

У поређењу са истраживањем спроведеним на територији Велике Британије [7], ученици у Србији у мањој мери од британских колега користе *Facebook*, а неупоредиво више *Instagram*. Слично као и у наведеном истраживању, коришћење друштвених мрежа за потребе размене знања, решавања школских задатака и информисања о школским активностима и у Србији се користи на ниском нивоу, чак и незнатно нижем у односу на Велику Британију.

Добијени резултати потврђују постављену претпоставку да постоји простор за унапређење примене савремених информационих технологија у домаћем образовном систему. Имајући у виду и искуства из других држава, може се претпоставити да би и учени-

ци били заинтересованији и мотивисанији за овај вид педагошко-просветне иновативности уколико би предавачи у већој мери подстицали коришћење мобилних уређаја, Интернета и друштвених мрежа у наставне и образовне сврхе.

Додатну претпоставку ефикасног коришћења мобилних технологија у образовању представља адекватно опремање средњошколских установа савременом техником и технологијом. Након тога, неопходно је континуирано теоријско и практично образовање професора, како би прво они схватили и прихватили улогу мобилних уређаја, Интернета и друштвених мрежа у наставном процесу, а затим то могли и да пренесу ученицима.

Сасвим је сигурно да би на тај начин образовно-наставни процес у средњим школама био значајно унапређен, побољшан и подигнут на знатно виши ниво, а ученици добили модеран и ефикаснији систем образовања примерен савременом технолошком развоју.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sølvsberg, A. M. и Rismark, M., "Learning spaces in mobile learning environments", *Active Learning in Higher Education* 13(1) (2012) 23–33.
- [2] Wong, L-H. и Looi, C. K., "What seams do we remove in mobile assisted seamless learning? A critical review of the literature", *Computers and Education* 57(4) (2011) 2364–2381.
- [3] Tess, P. A., "The role of social media in higher education classes (real and virtual)—A literature review." *Computers in Human Behavior* 29, (5) (2013) A60-A68.
- [4] Wu, Wen-Hsiung, Yen-Chun Jim Wu, Chun-Yu Chen, Hao-Yun Kao, Che-Hung Lin, и Sih-Han Huang. "Review of trends from mobile learning studies: A meta-analysis." *Computers & Education* 59, (2) (2012): 817-827.
- [5] Roblyer, M. D., McDaniel, M., Webb, M., Herman, J., и Witty, J. V., "Findings on Facebook in higher education: A comparison of college faculty and student uses and perceptions of social networking sites", *The Internet and Higher Education*, 13 (3), (2010) 134–140.
- [6] Halder, I., Santoshi H., и Abhijit G., "Undergraduate students use of mobile phones: Exploring use of advanced technological aids for educational purpose." *Journal of Media and Communication Studies* 7, (4) (2015) 81
- [7] Blair, R., David M., и John W., "Perceptions of school children of using social media for learning." *IJEL-International Journal on E-Learning* (2015).



ВЕБ ПОРТАЛ ЗА РАЗМЕНУ ЗНАЊА ЗАСНОВАН НА ПРОШИРЕНОМ МОДЕЛУ ЕЛЕКТРОНСКОГ ПОСЛОВАЊА

WEB PORTAL FOR KNOWLEDGE EXCHANGE BASED ON EXTENDED ELECTRONIC BUSINESS MODEL

МИЉАНА МАРИНКОВИЋ НОВАРЛИЋ

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, miljana.marinkovic@jcerni.co.rs

РАСТКО МАРТАЋ

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд, mrastko@jcerni.co.rs

Резиме: *Перманентно образовање више не представља пожељан, већ неопходан услов током развоја професионалне каријере. Струковне коморе и удружења за своје чланове имају обезбеђен програм континуираног професионалног усавршавања – перманентно образовање. Циљ овог рада је указивање на могућност дефинисања проширеног модела електронског пословања између научно-образовних односно научно-истраживачких институција, струковних комора односно удружења, правних лица и појединаца и државних органа и институција кроз имплементацију веб портала за размену знања. Веб портал за размену знања би чинио платформу за реализацију програма континуираног професионалног усавршавања, која омогућава појединцима да испуне неопходне услове перманентног образовања које дефинишу струковне коморе.*

Кључне речи: *перманентно образовање, електронско образовање, модел електронског пословања*

Abstract: *Lifelong learning is no longer a desirable but necessary requirement during the professional career development. Professional chambers and associations have provided to their members with a program of continuous professional development - lifelong education. The aim of this study is to evaluate the possibility of defining an extended e-business model between scientific and educational or research institutions, professional organizations or associations, legal entities and individuals and state bodies and institutions through the implementation of a web portal for knowledge sharing. Web portal for the knowledge exchange would be constituted as a platform for the realization of the program of continuous professional development, enabling individuals to fulfill the necessary conditions for permanent education defined by professional associations.*

Keywords: *lifelong learning, electronic learning, electronic business model*

1. УВОД

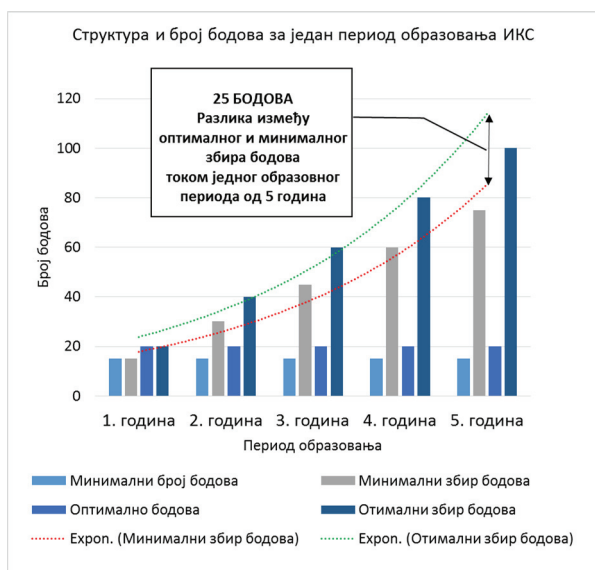
Процес образовања и усавршавања сматра се једним од основних елемената друштва и представља темељ друштвеног просперитета и развоја [1]. Савремено пословање, праћено убрзаним развојем науке и технологије, креирало је потребу за перманентним, целоживотним образовањем [2]. Данашње окружење захтева активну улогу образовних институција у циљу покретања промена. Научно-образовне односно научно-истраживачке институције, као носиоци развоја научно-истраживачког рада и образовања и развоја научног подмлатка, препознале су значај континуираног професионалног усавршавања својих кадрова. Струковне коморе већ имају дефинисане програме континуираног професионалног усавршавања чланова. Запослени, као носиоци стручног звања, чланови су одговарајућих струковних комора односно удружења и појављују се као крајњи корисници. Развој информационо

комуникационих технологија довео је до различитих промена у образовању [3]. Рад има за циљ да презентује могућност успостављања међу институционалног модела сарадње који се заснива на проширеном моделу електронског пословања који је у наставку детаљније описан.

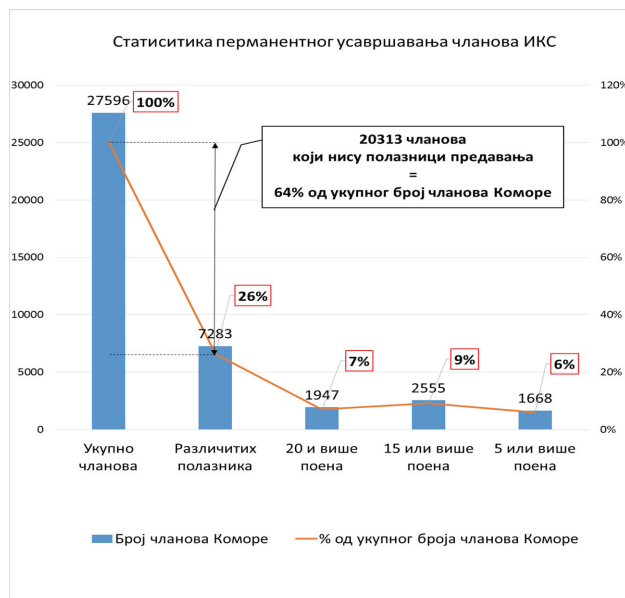
2. ПЕРМАНЕНТНО ОБРАЗОВАЊЕ - ПРИМЕР ИЗ ПРАКСЕ

Перманентно образовање омогућава већу конкурентност инжењера на домаћем, европском и светском тржишту [4]. С тим у вези, Инжењерска комора Србије (ИКС) започела је реализацију Програма обуке континуираног (перманентног) професионалног усавршавања чланова Инжењерске коморе Србије. ИКС истиче да је пројекат од изузетне важности и намењен је свим члановима Коморе, ради додатног едуковања у циљу одржавања и унапређења квалитета рада, успо-

стављања високог стандарда професије кроз усавршавање постојећих и стицање нових знања. Правилником о континуираном професионалном усавршавању чланова ИКС дефинисано је да образовни период траје пет година и да је током тог периода неопходно да члан ИКС стекне 100 бодова. презентује трајање образовног периода и структуру бодова по годинама. Уколико члан ИКС сваке године током образовног периода остварује минимални број од 15 бодова, на крају образовног периода остварује 75 бодова. Разлика између оптималног и минималног збира бодова на крају образовног периода износи 25 бодова.



Слика 1 Структура и број бодова за један период образовања ИКС



Слика 2 Статистика перманентног усавршавања чланова ИКС

На основу статистичких података везано за перманентно усавршавање чланова ИКС [4] извршена је графичка анализа ().

Инжењерска комора Србије броји укупно 27.596 чланова. Од тога, 26% чланова, односно различитих полазника је присуствовало предавањима. 6% чланова остварило је 5 или више поена, 9% чланова остварило је 15 или више поена. 7% чланова остварило је оптималан број поена, односно 20 и више поена.

Имајући у виду све горе наведене податке, може се донети закључак да скоро две трећине од укупног броја чланова не учествује у програму перманентног образовања ИКС и да је потребно унапредити начин реализације самог програма.

Акције које се брзо и једноставно могу применити у циљу унапређења перманентног образовања су [2]:

- Активности на промоцији и подизању свести о неопходности и предностима примене концепта перманентног образовања.
- Стварање окружења за реализацију бесплатних отворених онлајн курсева, као и склапање партнерстава са постојећим провајдерима отворених курсева.
- Укључивање у међународне програме целоживотног образовања.
- Због своје флексибилности и доступности, технологије електронског образовања су погодне за реализацију концепта перманентног учења.

2. ЕЛЕКТРОНСКО ПОСЛОВАЊЕ КАО ИНСТРУМЕНТ ЗА РАЗМЕНУ ЗНАЊА

Lou Gerstner, бивши извршни директор IBM-а рекао је да се „електронско пословање односи на временски циклус, брзину, глобализацију, унапређење продуктивности, приступ новим купцима као и на размену знања како би се остварила конкурентска предност [5]“. Најшира дефиниција електронског пословања одређује га као интерни или екстерни пословни процес где рачунарска мрежа представља посредника у реализацији.

Развојни пут електронског пословања текао је кроз неколико фаза:

- Веб-презентација
- Е-трговина
- Делјење информација
- Интелигентно електронско пословање

Интеллигентно електронско пословање подразумева креирање заједница између различитих индустрија и повезивање комплексних пословних процеса [3]. У овој фази неопходно је обезбедити висок ниво интероперабилности на техничком, организационом и семантичком нивоу. Крајњи корисник је у складу са актуелним пословним моделима кључни параметар који се активно укључује у развој производа и креирање садржаја [2].

3. ПРЕДНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБРАЗОВАЊА

Електронско образовање се дефинише као достављање материјала, активности и програма образовања путем електронских медија [2].

Онлајн образовање је ужи појам од електронског образовања, а подразумева образовне програме који се потпуно или у највећем делу заснивају на употреби Интернета у наставном процесу.

Као најзначајније предности електронског образовања издвајају се [2]:

- Временска и просторна флексибилност. Брзина, време и место учења се прилагођавају у складу са потребама корисника. На овај начин, превазилазе се просторна односно географска ограничења и образовање постаје лако доступно свима.
- Нижи трошкови. Цена оваквог начина образовања нижа је у односу на традиционалне начине. Различити корисници могу приступати једном истом курсу што омогућава ниже трошкове организовања, али повећава улагања у ИТ инфраструктуру.
- Интеракција између учесника у образовном процесу. Електронско образовање одликује непосредна и интерактивна комуникација која се заснива на интерактивним мултимедијалним садржајима.
- Персонализација. Образовни садржаји могу се прилагодити посебним захтевима слушалаца.

4. ПРОШИРЕНИ МОДЕЛ ЕЛЕКТРОНСКОГ ПОСЛОВАЊА

Постоји неколико основних форми електронског пословања у зависности од учесника у самом процесу [2]:

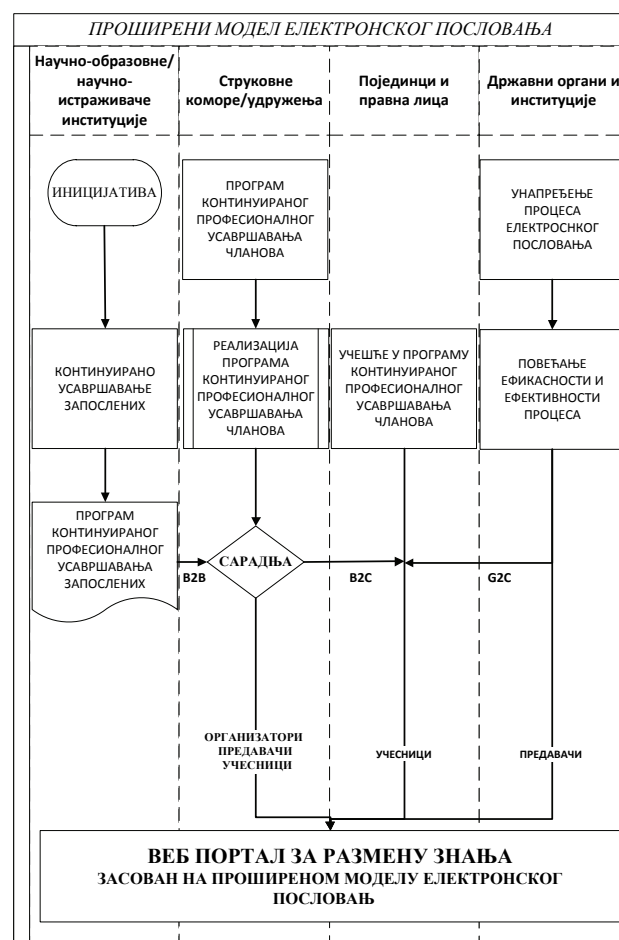
- B2B (Business to Business) – електронско пословање између два или више правних лица
- B2C (Business to Customers) – електронско пословање са фокусом на релацију пословни систем – крајњи корисник
- C2C (Customer to Customer) - електронско пословање између индивидуалних клијената
- G2B (Government to Business) - Електронско пословање државне управе које се односи на услуге за предузећа
- G2C (Government to Citizen) - Електронско пословање државне управе које се односи на услуге за грађане
- G2G (Government to Government) - Интероперабилност електронско пословање између различитих органа државне управе

Наведене форме се по потреби могу проширити.

Методом деск истраживања, односно анализом постојећих садржаја, уочена је могућност да се постави проширени модел електронског пословања који обухвата следеће интересне стране:

- Научно-истраживачке, односно научно-образовне институције
- Струковне коморе, односно струковна удружења
- Појединци и правна лица
- Државни органи и институције

Модел представља илустрацију потенцијалне сарадње горе наведених интересената, која за циљ има континуирано лично и професионално усавршавање запослених односно појединаца, односно пословних субјеката. Модел пословања заснован је на размени знања путем веб оријентисане платформе за електронско образовање. илуструје предложени модел.



Слика 3 Проширени модел електронског пословања

Носилац поменутог проширеног модела су научно-образовне односно, научно истраживачке институције које су тржишно оријентисане (**Business**). Као иницијатори сарадње, наведене институције желе пре свега својим запосленима да обезбеде континуирано усавршавање. Са друге стране, ти исти запослени су чланови струковних комора, односно удружења. Струковне коморе, односно удружења (**Business**) дефинишу Програм континуираног професионалног усаврша-

вања чланова. Сарадња између комора и институција се остварује у домену реализације програма континуираног усавршавања чланова (**B2B**). Запослени, односно чланови комора (**Customers**) се у моделу појављују као учесници предавања (**B2C**). Са друге стране, државни органи и институције (**Government**) желе да унапреде процесе електронског пословања према грађанима (**G2C**), са циљем повећања ефикасности и ефективности процеса, односно услуга, те у моделу имају дефинисану улогу предавача. Као резултат сарадње ова четири генеричка ентитета, формира се проширени модел електронског пословања.

4. КОНЦЕПТ ВЕБ ПОРТАЛА ЗА РАЗМЕНУ ЗНАЊА

Имплементација и реализација проширеног модела електронског пословања захтева да се обезбеди инфраструктура која обухвата рачунарску мрежу, хардвер, софтвер и сл. Научно-образовне односно научно-истраживачке институције као иницијатори модела сарадње омогућили би комплетну инфраструктуру која је неопходна за реализацију веб портала за размену знања и обезбедили неопходну подршку за неометано функционисање система. Крајњи корисници (појединци и правна лица) остварују интеракцију са осталим учесницима модела (организаторима и предавачима) преко *front-end* дела веб портала за размену знања. Веб портал нуди четири опште категорије:

- почетна страна са објашњењима о начину функционисања портала,
- регистрација и пријављивање на систем,
- претрага и слушање доступних предавања и преузимање материјала за учење,
- постављање предавања и евалуација корисника који су слушали дато предавање.

Регистрација на веб портал је бесплатна. Приликом првог пријављивања корисник добија кредит од 10 бодова које може да искористи у року од тридесет дана. Систем је унапред попуњен са одређеним бројем предавања и материјала за учење. Након потрошеног кредита од 10 бодова, корисник има две могућности:

- креирање и постављање предавања и евалуација корисника који су слушали дато предавање, или,
- плаћање унапред дефинисаног износа за слушање предавања, односно онлајн куповина.

Прва опција нуди могућност крајњим корисницима да користећи унапред дефинисане формате предавања и пратећих материјала, пренесу сопствена знања и вештине и на тај начин омогуће другим корисницима да науче нешто ново. Обзиром да је потребна евалуација крајњих корисника, креатор предавања дугорочно остварује бодове сваки пут када неко одлучи да похађа предметно предавање и обезбе-

ђује могућност личног континуираног усавршавања кроз дефинисани систем.

Друга опција је комерцијалног типа, где се онлајн куповином остварује једнократни приступ датом предавању.

Приликом постављања предавања и материјала, потребно је да исти буду одобрени од стране стручњака из дате области (струковне коморе или удружења, односно државног органа или институције)

5. ЗАКЉУЧАК

Предложени проширени модел електронског пословања има бројне предности. Кроз рад је на конкретном примеру из праксе приказана и образложена потреба за унапређењем процеса реализације програма перманентног целоживотног образовања. Статистички подаци и анализе приказују да постоји простор за дефинисање једног оваквог система који брише просторне, временске и новчане ограничавајуће факторе. Веб портал за размену знања који је заснован на проширеном моделу електронског пословања нуди могућност свим интересним странама за реализацију постављених циљева везано за континуирану обуку, усавршавање знања и вештина, унапређење процеса електронског пословања и подизање међу институционалне сарадње на један савременији, виши ниво.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Радосављевић В., Мамула Тартаља Д., Јелић Г, *ILS learning style model and multimedia e-learning*, Symorg2016 - Proceedings
- [2] Раденковић, Б., Деспотовић Зракић, М., Богдановић, З., Бараћ, Д., Лабус, А., *Електронско пословање*, Факултет организационих наука, Београд, 2015.
- [3] Захировић Сухоњић А., Лабус А., Деспотовић Зракић, М., *Approach to collaborative micro learning based on crowdsourcing*, Symorg2016 - Proceedings
- [4] Prieger E., J., Heil, D., "Economic Implications of e-Business for Organizations", *Handbook of Strategic e-Business Management*, (Part I) (2014) pp 15-53.
- [1] Инжењерска комора Србије, *Статистички подаци о реализацији перманентног усавршавања у првих десет месеци 2015. године*, Преузето са следеће веб адресе: <http://www.ingkomora.org.rs/programobuke/download/PermanentnoStatistikaOktobar2015.pdf> Датум преузимања: 07.07.2016.
- [5] Република Србија, Министарство трговине, туризма, и телекомуникација, *Развој електронског пословања, Пројекат финансира Европска унија*, Преузето са следеће веб адресе: <http://www.eposlovanje.biz/CMS/download/brosura-razvoj-elektronskog-poslovanja.pdf> Датум преузимања: 20.06.2016.



МУЛТИКАНАЛНА КОНКУРЕНЦИЈА У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА МАЛОПРОДАЈНОГ ТРЖИШТА

MULTICHANNEL COMPETITION IN FUNCTION OF RETAIL MARKET DEVELOPMENT

СОЊА ЛЕКОВИЋ

Економски факултет у Суботици, Универзитет у Новом Саду, Суботица, sonjalekovic@ef.uns.ac.rs

Резиме: Развој електронске малопродаје утиче на појаву и развој нових учесника на тржишту и стварање нових облика конкуренције између учесника. Традиционални малопродавци се ослањају на иновације засноване на Интернету и електронску малопродају и на тим основама проналазе нове начине постизања конкурентности на малопродајном тржишту. У савременим условима јача позиција „чистих“ електронских малопродаваца који постају значајан конкурент највећим малопродавцима. Показатељи малопродајног пословања указују на различиту ефикасност традиционалних и електронских малопродаваца, као и различите токове у даљем развоју. Тржиште електронске малопродаје карактерише динамично окружење и представља огроман потенцијал за даљи развој конкуренције у малопродаји.

Кључне речи: малопродаја, електронска малопродаја, конкуренција, профитна маржа, Walmart, Amazon.com.

Abstract: The development of electronic retailing affects the appearance and development of new market participants and the creation of a new forms of competition between the participants. Traditional retailers rely on innovation based on the Internet and electronic retailing and on this basis find new ways to compete in the retail market. In modern conditions strengthens the position of pure-play electronic retailers who become a significant competitor to the largest retailers. Indicators of retail business indicate different efficiency of traditional and electronic retailers, as well as different trends in further development. Electronic retail market is characterized by a dynamic environment and represents a huge potential for further development of competition in retailing.

Keywords: retailing, electronic retailing, profit margin, competition, Wal-Mart, Amazon.com.

1. УВОД

Електронска малопродаја постаје неопходан услов даљег развоја и позиционирања малопродаваца на тржишту у условима оштре конкуренције између малопродаваца. Овим радом се указује на питања мерења ефикасности пословања и компарацију показатеља пословања у традиционалној и електронској малопродаји, путем одговора на питања:

- Ко су највећи конкуренти на мултиканалском малопродајном тржишту?
- Како се мери профитна маржа у малопродаји?
- Шта карактерише ниво и кретање нето профитне марже у електронској малопродаји?
- Која је разлика у нивоима нето профитне марже у традиционалној и електронској малопродаји?

Одговором на ова питања тежи се показати позиција појединих учесника на малопродајном тржишту, конкурентност на малопродајном тржишту, као и мултиканална конкуренција која све више има утицај на даљи развој малопродајног тржишта.

2. ЈАЧАЊЕ МУЛТИКАНАЛНЕ КОНКУРЕНЦИЈЕ У САВРЕМЕНИМ КАНАЛИМА МАРКЕТИНГА

Мултиканална конкуренција се јавља на релацији традиционалних малопродаваца који примењују електронску малопродају и електронских малопродаваца који функционишу само на електронском тржишту. Такође, у савременој малопродаји, појављује се и све чешћи феномен преласка „чистих“ електронских малопродаваца на традиционалну продају, отварањем малопродајног објекта, што у почетним фазама развоја електронске малопродаје није било замисливо (најпре Dell.com, данас Amazon.com, а очекује се да ће и eBay.com отворити свој малопродајни објекат, сви примарно у сврху преузимања производа који су наручени online, али и у сврху преласка на традиционалну малопродају).

Испољаване последица мултиканалне конкуренције појавило се најпре појавом и развојем електронске малопродаје и јачањем „чистих“ електронских малопродаваца. Са појавом Amazon.com сматрало се да ће Ин-

тернет уништити традиционалне „цигла и малтер“ малопродавце књига, уместо тога десиле су се промене у концепту традиционалне малопродаје књига [1, р. 6]. Традиционални малопродавци се прилагођавају новонасталој мултиканалној конкуренцији и одупиру се компаративним предностима које нуде електронски малопродавци. У почетним фазама развоја Amazon.com се није сматрао претњом традиционалној малопродаји књига, јер малопродајни објекат има своју културолошку улогу у XXI веку, будући да Интернет књижаре и традиционалне књижаре служе различитом доживљају куповине [2, р. 4]. Стога и Amazon.com преласком на традиционалну малопродају књига проналази своје место и позицију на традиционалном малопродајном тржишту и постаје значајан конкурент будући да има изграђено име на online малопродајном тржишту.

У почетним фазама развоја електронске малопродаје појавом Amazon.com-а, књиге су биле први производ који је имао погодне карактеристике да буде продат на Интернету (физичка недоступност није од значаја за куповину књиге). Само информације на Web-у и познате карактеристике књиге као предмета куповине биле су довољне за доношење одлуке о куповини. Након петнаест година свог успешног пословања, Amazon.com на свом сајту има више производа него што је могуће представити у једном малопродајном објекту и пружа више информација о сваком појединачном производу него што је продавац у могућности да пружи. На основу наведеног се може рећи да појава електронске малопродаје утиче на појаву и развој нових канала маркетинга, али и на промену постојећих канала маркетинга и стварање новог облика конкуренције. Amazon.com је постао Walmart на Интернету, али са друге стране Walmart, као највећи светски малопродавац, неће дозволити Amazon.com-у доминацију у електронском каналу маркетинга у наредном периоду [3, р. 4], што доводи до мултиканалне конкуренције између традиционалних малопродаваца и електронских малопродаваца.

Интернет не може да елиминира или замени традиционалне функције, које се обављају у каналима маркетинга, он може да у значајној мери реструктурира канале маркетинга и да допринесе развоју нових односа између учесника у каналима маркетинга [4, стр. 33]. Нови облици конкуренције и нови односи између конкурената се јављају у савременим условима на електронском тржишту. У оваквим условима јавља се нови облик електронске малопродаје и конкуренције између малопродаваца, који се развија од стране пионира електронске малопродаје Amazon.com-а, Sears-а, Target-а и других који представљају и продају производе својих директних конкурената (нпр. Sears представља понуду свог конкурента на својој електронској продавници, тако што након што је производ наручен, новац прослеђује директно одговарајућем малопродавцу, а за ту своју услугу наплаћује месечну надокнаду, као и проценат од сваке продаје која је реализована путем овог програма [5, р. 563]).

Укупан нето профит Amazon.com-а у претходних двадесет година је био 1.962 милиона \$, док је укупан нето профит Walmart-а у 2014. години био 16.182 милиона \$ [6], што указује на значајност позиције Walmart-а на малопродајном тржишту као доминантног малопродавца. Међутим не може се занемарити ни позиција Amazon.com-а и његова улога у електронској малопродаји и утицај на развој целокупне малопродаје. Електронска малопродаја бележи позитиван раст и у периоду рецесије, од 2006. до 2008. године, наспрот традиционалној малопродаји која бележи пад од 4% до 5% [7, р. 729]. Електронска малопродаја бележи раст прихода од продаје у претходном периоду од 22%, док традиционална малопродаја има раст од 4.5%, раст електронске малопродаје код Walmart-а је износио 24%, док је његова традиционална малопродаја била на нивоу од 3.5% раста, а Amazon.com је забележио раст од 18.6% [8, р. 23, р. 37]. На основу наведеног се може закључити да је електронска малопродаја постала најбрже растући малопродајни канал уопште, на нивоу целокупног малопродајног сектора и индивидуално на нивоу једне малопродајне компаније која поред свог традиционалног малопродајног пословања примењује и електронску малопродају.

3. МЕРЕЊЕ ПРОФИТНЕ МАРЖЕ У ТРАДИЦИОНАЛНОЈ И ЕЛЕКТРОНСКОЈ МАЛОПРОДАЈИ

За израчунавање профитне марже као показатеља ефикасности пословања малопродавца, неопходно је узети у обзир оперативне показатеље пословања, најпре приход од продаје и трошкове набавке производа. На основу наведених показатеља се израчунава бруто маржа за продате производе, односно одузимањем од наведене вредности бруто марже укупних трошкова малопродавца, добија се нето профит малопродавца (пре опорезивања) [9, стр. 227]:

Бруто маржа = нето промет (приход од продаје) – трошкови набавке (набавна вредност производа), (1)

на основу које произилази,

Нето профит пре опорезивања = бруто маржа – укупни трошкови. (2)

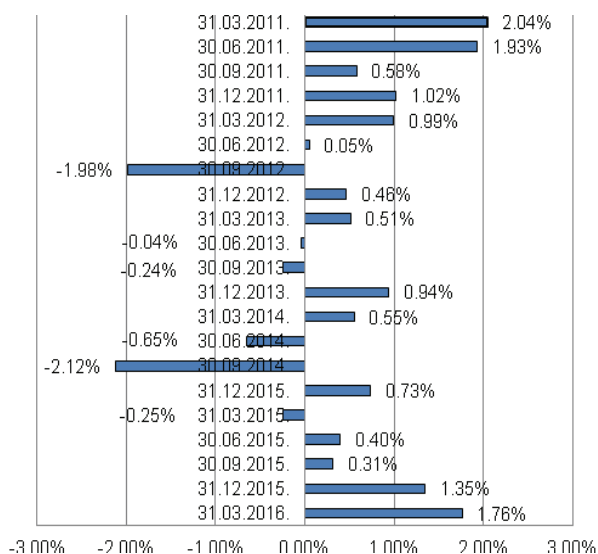
У оквиру укупних трошкова спадају оперативни трошкови који су у случају електронске малопродаје мањи, јер не постоје продајни објекти који примарно стварају оперативне трошкове. Оперативни трошкови код електронске малопродаје су трошкови дистрибутивних центара, залиха, трошкови рада на припреми поруџбина и слично, док су трошкови продајне снаге изостављени. Међутим, иако оперативни трошкови у основи јесу нижи, то не значи и већу профитну маржу у електронској малопродаји.

Нето профит је мера профитабилности пословања малопродавца, док је бруто маржа мера профитабилности малопродавца у домену политике асортимана [9, стр. 227]. Нето профитна маржа обухвата однос које

се заснива на нето профиту (након одбитка пореза) и нето продаји, односно промету [10, стр. 167]:

Нето профитна маржа = $\frac{\text{Нето профит након опорезивања}}{\text{нето промет}}$

(3)



Слика 1: Квартално кретање нето профитне марже Amazon.com-а од 2011-2016. године [6]

У наведеном периоду кретање нето профитне марже Amazon.com је значајно варирао и посматрано квартално, што није уобичајно за традиционалну малопродају. Нето профитна маржа највећих светских малопродаваца према приходу од продаје у просеку је износила 2.8% у 2014. години [8, р. 23], што је изнад вредности посматране нето профитне марже Amazon.com-а. Amazon.com у претходном периоду пословао на граници профитабилности, али са највећим растом прихода од продаје у односу на Walmart и остале традиционалне малопродавце.

4. КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА МУЛТИКАНАЛНА КОНКУРЕНЦИЈЕ ИЗМЕЂУ WALMART-А И AMAZON.COM-А

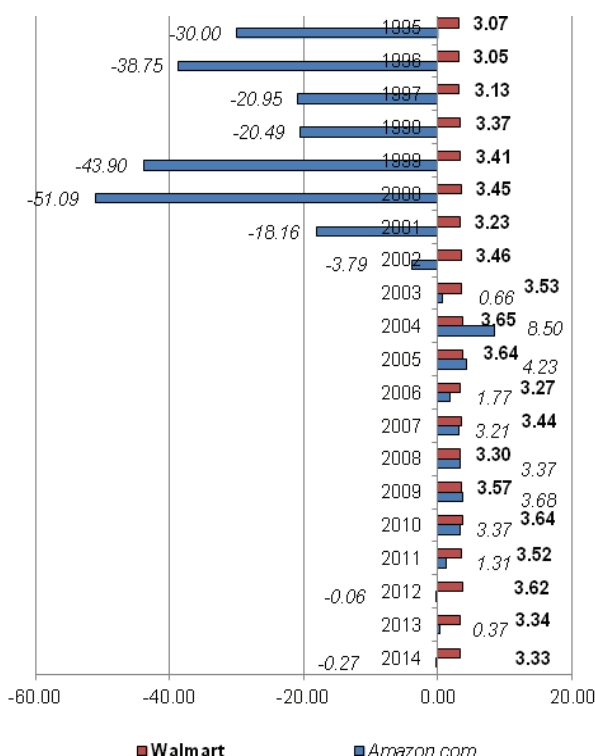
Конкуренција између Walmart-а и Amazon.com-а је приказана поређењем параметара њиховог пословања у претходном периоду. У наведеном периоду Amazon.com-а има значајан раст прихода од продаје. Кад је реч о нивоу нето профита, у претходном периоду Walmart-а има исти ниво раста нето профита као и прихода од продаје. Наведени тренд је приметан и на ток нивоа нето профитне стопе.

Табела 1: Кретање нето профита и прихода од продаје Walmart-а и Amazon.com-а у периоду 1995-2014. године [11]

Год.	Нето профит		Приход од продаје	
	Amazon.com	Walmart	Amazon.com	Walmart
2014	-241	16182	88988	485651
2013	274	15918	74452	476294
2012	-39	16963	61093	468651

Год.	Нето профит		Приход од продаје	
	Amazon.com	Walmart	Amazon.com	Walmart
2011	631	15734	48077	446509
2010	1152	15340	34204	421395
2009	902	14449	24509	405132
2008	645	13235	19166	401087
2007	476	12841	14835	373821
2006	190	11284	10711	344759
2005	359	11231	8490	308945
2004	588	10267	6921	281488
2003	35	9054	5264	256329
2002	-149	7955	3933	229616
2001	-567	6592	3122	204011
2000	-1411	6235	2762	180787
1999	-720	5324	1640	156249
1998	-125	4397	610	130522
1997	-31	3504	148	112005
1996	-6.2	3042	16	99627
1995	-0.3	2737	1	89051

Нето профитна маржа код Amazon.com-а у почетним годинама развоја Amazon.com-а је негативна, односно показује слабљење од 2011. године, док је нето профитна маржа Walmart-а у петходном периоду на приближно истом нивоу (између 3.5% и 3.64%). Наведени периоди позитивне нето профитне марже Amazon.com-а од 2003-2011. године, нето профитна маржа превазилази просечну нето профитну маржу традиционалне малопродаје и Walmart-ову нето профитну маржу. Након 2012. године долази до опадања нето профитне марже Amazon.com-а.



Слика 2: Нето профитна маржа Walmart-а и Amazon.com-а у периоду 1995-2014. године

Иако долази до успоравања раста и пада прихода од продаје у традиционалној малопродаји, нето профитна маржа код Walmart-а остаје на истом нивоу. У случају електронске малопродаје нето профитна маржа

показује веће варирање у вредности, што указује на пословање на граници профитабилности, али ипак значајан раст пословања према осталим показатељима, што Amazon.com поставља на позицију најзначајнијег електронског малопродавца на тржишту.

5. ЗАКЉУЧАК

Нови облици конкуренције и нови односи између конкурената се јављају на савременом малопродајном тржишту. Мултиканална конкуренција се јавља између највећих малопродаваца на традиционалном и електронском тржишту. Amazon.com преласком на традиционалну малопродају књига се позиционира на традиционалном малопродајном тржишту и постаје значајан конкурент. Са друге стране Walmart, највећи светски малопродавац, не дозвољава Amazon.com-у доминацију на електронском тржишту што доводи до мултиканалне конкуренције. Електронска малопродаја је постала најбрже растући малопродајни канал уопште, на нивоу целокупног малопродајног сектора и индивидуално на нивоу једне малопродајне компаније, што утиче на развој малопродајног тржишта. Нето профитна маржа у малопродаји обухвата однос нето профита (након одбитка пореза) и нето продаје. Највећи светски малопродавац према приходу од продаје су имали нето профитну маржу у просеку 2.8% у 2014. години, што је изнад вредности нето профитне марже Amazon.com-а. У периоду од 2003-2011. године, када је Amazon.com имао позитивну нето профитну маржу, она превазилази просечну нето профитну маржу традиционалне малопродаје и Walmart-ову нето профитну маржу. У случају електронске малопродаје нето профитна маржа показује веће варирање у вредности, што указује на пословање на граници профитабилности, али ипак значајан раст пословања према осталим показатељима. Предлог за будућа истраживања и проширење постојећег истраживања ће бити усмерен ка проширењу анализе на ниво целокупног малопродајног сектора, односно поређење тренда

нивоа нето профитне марже код истог малопродавца у традиционалној и електронској малопродаји.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dunne, P. M., Lusch, R. F., Carver, J. R., *Retailing*. 8th edition, Cengage Learning, South-Western, 2014.
- [2] Rayport, J. F., Jowarski, B. J., *Cases in e-Commerce*, McGraw-Hill, Boston, 2002.
- [3] Rosenbloom, B., *Marketing Channels. A Management View*. 8th edition, Cengage Learning, South-Western, 2013.
- [4] Ловрета, С., Кончар, Ј., Петковић, Г., „Стратегије изградње структуре канала маркетинга у функцији јачања српске привреде“, *Нови методи менаџмента и маркетинга у подстицању конкурентности српске привреде*. Уредници: Јанићијевић Н., Ловрета С., Економски факултет Универзитета у Београду, Научно друштво економиста Србије, Економски факултет у Суботици, Београд, 2011.
- [5] Cai, G., Chen, Y. “In-store referrals on the Internet”, *Journal of Retailing*, 87 (4) (2011) 563-578.
- [6] Доступно на сајту: https://ycharts.com/companies/AMZN/profit_margin, датум доступности: јун 2016.
- [7] Laudon, K.C., Traver, C. G., *E-Commerce 2014. Business. Technology. Society*. 9th edition, Pearson, Essex, 2014.
- [8] Deloitte, *Global Powers of Retailing 2016 Navigating the new digital divide*. Deloitte Touche Tohmatsu Limited, London, 2015.
- [9] Ловрета, С., *Трговински менаџмент*, ЦИД Економски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2015.
- [10] Кончар, Ј., *Менаџмент малопродаје*, Економски факултет у Суботици, Суботица, 2015.
- [11] Доступно на сајту: <http://revenuesandprofits.com/amazon-vs-walmart-revenues-and-profits-1995-2014/>, датум доступности: јун 2016.



ТЕЛЕМЕДИЦИНА: НЕКАД И САД

TELEMEDICINE: THEN AND NOW

МАРИНА ЈОВАНОВИЋ МИЛЕНКОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Јове Илића 154, Београд, marinaj@fon.bg.ac.rs

ЈОВАНКА ВУКМИРОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Јове Илића 154, Београд,

vukmirovic.jovanka@fon.bg.ac.rs

ДЕЈАН МИЛЕНКОВИЋ

Управа за телекомуникације и информатику Генералштаба Војске Србије, Рашка 2, Београд,

dejan.milenkovic@vs.rs

Резиме: Телемедицина се као област јавила почетком 20. века. Међутим њен развој и примена се кроз историју показала као добра технологија са позитивним ефектом на здравствено стање пацијената, међутим са великим трошковима. У раду је приказана кратка историја догађаја која су довела до развоја телемедицине. Са увођењем информационо – комуникационих технологија и са појавом Интернета, телемедицински сервиси постају доступни становништву у све више земаља. Њихова значајност се најбоље уочава у удаљеним и слабије развијеним регионима, јер се омогућава квалитетна дијагностика, надзор на даљину. Рад даје кратак преглед примене телемедицинских сервиса у земљама Европе са акцентом на Републику Србију.

Кључне речи: Информационо – комуникационе технологије, телемедицина, пацијент, телемедицинске услуге

Abstract: Telemedicine has emerged in the early 20th century. However, its development and implementation historically proved to be a good technology with a positive effect on the health status of patients, but with high costs. This paper presents a brief history of the events that led to the development of telemedicine. With the introduction of information - communication technologies and the advent of the Internet, telemedicine services will become available to citizens in more and more countries. Their significance is most evident in remote and less developed regions, as to quality diagnostics, remote monitoring. The paper gives a brief overview of the application of telemedicine services in the countries of Europe with an emphasis on the Republic of Serbia.

Keywords: Informational - Communication technology, telemedicine, patients, telemedicine services.



**ЕЛЕКТРОНСКО ПОСЛОВАЊЕ У АУТО КУЋАМА
УПРАВЉАЊЕ МРТВИМ ЗАЛИХАМА**

**ELECTRONIC BUSINESS IN AUTO-HOUSE COMPANIES
MANAGEMENT OF DEAD STOCK**

НЕНАД БАДОВИНАЦ

Факултет организационих наука, Београд, nenad.badovinac@gmail.com

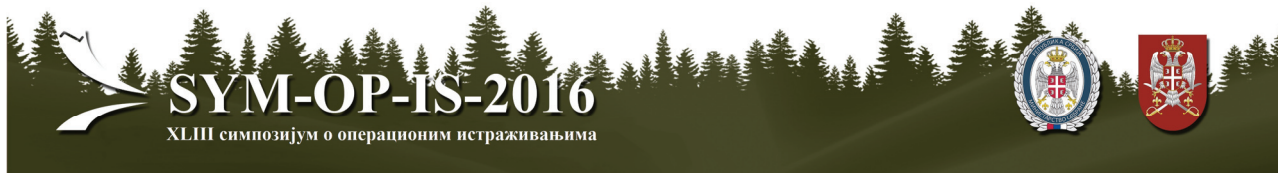
Резиме: Специјализовани DMS software (Dealership management system) користи се као подршка пословању ауто куће. То је софтверски систем који управља пословањем ауто куће, контролише и управља пословним функцијама, те представља менаџменту мерљиве, правремене и поуздане информације које су значајне за пословање. Основни део сваког DMS софтвера је између осталог и скуп апликација који се односи на магацинско пословање. Унутар магацинског пословања сваке ауто куће постоји проблем нагомилавања Мртве залихе који је тешко решив. Готово нерешив. У овом раду је представљена идеја коришћења виртуелних магацина у синтези са попутним системом пословног извештавања која би се као посебна процедура могла уградити у DMS софтвере као решење за проблем мртве залихе.

Кључне речи: Мртва залиха, Виртуелни магацин

Summary: Specialized software DMS (Dealership Management System) is used to support the operations of car manufacturer. It is a software system that manages operations of car manufacturer, controls and manages business functions, and represents to the management measurable, timely and reliable information that are relevant to the business. The main part of each DMS software is a set of applications pertaining to ware-housing. Inside the warehouse operations of any car manufacturer there is a problem of accumulation of dead stock that is intractable. Nearly insoluble. This paper presents the idea of using virtual warehouse in synthesis with accompanying reporting system that could be incorporated into DMS software as a special procedure.

Keywords: dead inventory, virtual storage

ЕНЕРГЕТИКА



ПРИМЕНА PROMETHEE II И CRITIC МЕТОДА ЗА ПРИОРИТИЗАЦИЈУ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ

PRIORITIZATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES USING PROMETHEE II AND CRITIC METHODS

ВЛАДИМИР КАТАНЧЕВИЋ

Кабинет министра одбране, Београд, vladimir.katancevic@mod.gov.rs

МИЛАН КАНКАРАШ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, kankaras.milan@outlook.com

БЛАЖО РАДОВИЋ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, blazo.radovic@mod.gov.rs

Резиме: Употреба енергије је кључна за развој људског друштва и обезбеђује се контролом и прилагођавањем спољашње средине, најчешће без обзира на штетне последице на глобалном, регионалном и локалном нивоу. На процес доношења одлука о увођењу обновљивих извора енергије утиче велики број разнородних критеријума и интереса који се често налазе у конфликту. У том процесу примена метода вишекритеријумског одлучивања може олакшати избор приоритета развоја обновљивих извора енергије. У раду су приказане могућности примене метода вишекритеријумског одлучивања и објективног приступа избору обновљивих извора енергије, понуђена су практична решења која могу бити од користи за доносиоце одлука у државној управи, али и за организационе системе чија је основна делатност производња и дистрибуција енергије.

Кључне речи: Обновљиви извори енергије, CRITIC метода, PROMETHEE II метода, приоритизација.

Abstract: The use of energy is crucial for the development of human society and it is provided by controlling and adjusting of external environment, usually regardless of the adverse consequences on the global, regional and local level. The decision-making process on the introduction of renewable energy sources is affected by large number of diverse criteria and interests that are often in conflict. In that process the application of multicriteria decision-making methods may facilitate the selection of priorities for development of renewable energy sources. This paper presents the possibility of applying the method for decision making and objective approach to the choice of renewable energy sources, offers practical solutions that can be useful for decision makers in public administration, and for organizational systems whose main activity is the production and distribution of energy.

Keywords: Renewable energy sources, CRITIC method, PROMETHEE method, selection of priorities.

УВОД

Квантификацијом глобалних економских процеса, научним истраживањем и предвиђањем дошло се до са знања да потрошња расположивих ресурса ове планете расте невероватном брзином, па се поставља логично питање у ком временском року ће они нестати. Људски род је успевао да ту борбу са временом успори својом домишљатошћу, новим техничким и технолошким изумима или алтернативним решењима, али уз велике финансијске издатке и улагања. Привредни раст и развој науке и технологије, њихов утицај на војну и политичку моћ којима се обезбеђују услови за даљи привредни раст, је својеврстан зачарани круг у којем је друштво заробљено као никада до сада. Центар тог зачараног круга представља енергија као директни или индиректни покретач и кохезивни фактор свих производних потенцијала савременог друштва. Пошто је доступност енергетских ресурса један од основних услова за успешан развој друштва, а имају-

ћи у виду да Република Србија тренутно нема великих могућности за диверзификацију необновљивих извора енергије, развој и увођење нових технологија и коришћење обновљивих извора енергије постаје један од приоритета будућег развоја енергетског система. Имајући у виду чињеницу да на процес доношења одлуке о увођењу и приоритизацији обновљивих извора енергије утиче велики број разнородних критеријума и интереса који се често налазе у конфликту, примена метода вишекритеријумског одлучивања може олакшати избор приоритета развоја обновљивих извора енергије.

1. СТРУКТУРИРАЊЕ ПРОБЛЕМА

Имајући у виду да је приоритизација обновљивих извора енергије постављена са већим бројем алтернатива и често конфликтних критеријума, ради решавања овог проблема могу бити примењени модели вишекритеријумског одлучивања. Моделе вишекритеријумског одлучивања можемо поделити на методе ви-

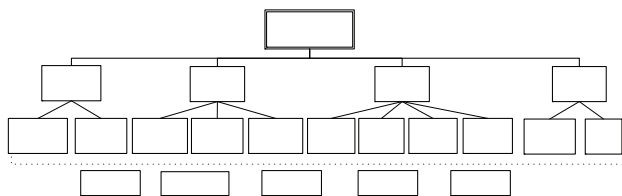
шеатрибутивног одлучивања и методе вишециљног одлучивања [1].

Циљ примене PROMETHEE II методе, као једне од метода вишекритеријумског одлучивања, је рангирање обновљивих извора енергије у складу са постављеним критеријумима и алтернативама, ради приоритизације пројеката приликом инвестиционих улагања. Ради избора оптималног обновљивог извора енергије, биће примењена четири главна критеријума са својим субкритеријумима, у односу на које ћемо посматрати пет изабраних алтернатива. Алтернативе су одређене на основу обновљивих извора енергије који су дефинисани Законом о енергетици: хидроенергија (електране чија је снага мања од 10 MW), биомаса (без дрвне биомасе), енергија ветра, енергија сунца и геотермална енергија.

Вредновање наведених алтернатива ће бити реализовано преко критеријума који су дефинисани на основу постојеће литературе која обрађује примену метода вишекритеријумског одлучивања у области енергетике и обновљивих извора енергије, као и расположивих података за Републику Србију:

- Технички критеријум (K_1) са субкритеријумима: Расположиви технички потенцијал (K_{11}) и Ефикасност (K_{12}).
- Економски критеријум (K_2) са субкритеријумима: Трошкови инвестиција (K_{21}), Оперативни и трошкови одржавања (K_{22}) и Предвиђени период производње (K_{23}).
- Еколошки критеријум (K_3) са субкритеријумима: Утицај загађења ваздуха са CO_2 (K_{31}), Утицај загађења ваздуха са SO_2 (K_{32}), Утицај загађења ваздуха са NO_x (K_{33}) и Површина земљишта неопходна за функционисање инсталације (K_{34}).
- Социјални критеријум (K_4) са субкритеријумима: Социјална прихватљивост (K_{41}) и Могућност за отварање нових радних места (K_{42}).

На основу представљеног циља, критеријума, субкритеријума и алтернатива, а имајући у виду њихову међусобну зависност, формирана је хијерархија одлучивања приказана на Слици 1.



Слика 1 – Хијерархија одлучивања за приоритизацију обновљивих извора енергије

На основу података за сваки критеријум понаособ, креирана је Табела 1 – Матрица одлучивања приоритизације обновљивог извора енергије, у којој су приказане све вредности за алтернативе по датим субкритеријумима, као и тип екстремизације.

Табела 1 – Матрица одлучивања

Обновљиви извор енергије	$K_{11}[4]$	$K_{12}[5]$	$K_{21}[6]$	$K_{22}[6]$	$K_{23}[6]$	$K_{31}[7]$	$K_{32}[7]$	$K_{33}[7]$	$K_{34}[8]$	$K_{41}[9]$	$K_{42}[10]$
Биомаса	1,637	0,28	1420	71	20	22	0,115	1,8	5,2	4	2,56
Хидроенергија	0,151	0,85	3150	40	50	9	0,03	0,07	0,13	3	1,84
Енергија ветра	0,103	0,4	1325	40	25	8	0,55	0,0045	0,79	2	2,85
Соларна енергија	0,24	0,13	3350	36	25	132	0,27	0,24	0,12	1	3,61
Геотермална	0,175	0,224	4660	149	30	8	0,02	0,28	0,03	5	2,92
Екстремизација	max	max	min	min	max	min	min	min	min	min	max
Max (x_{ij})	1,637	0,85	4660	149	50	132	0,55	1,8	5,2	5	3,61
min (x_{ij})	0,103	0,13	1325	36	20	8	0,02	0,0045	0,03	1	1,84

2. ПРИМЕНА CRITIC МЕТОДЕ

Један од највећих проблема приликом примене метода вишекритеријумског одлучивања је одређивање релативне тежине критеријума. Имајући у виду да релативне тежине критеријума могу имати значајан утицај на резултате примене метода вишекритеријумског одлучивања на постављени проблем, поставља се питање степена њихове објективности и веродостојности. Поред бројних подела, методе одређивања релативних тежина критеријума начелно се могу поделити на методе субјективног и објективног приступа [2]. Једна од метода за објективно одређивање релативне тежине критеријума је CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation). Ова метода је базирана на интензитету контраста и конфликта који је садржан у структури проблема одлучивања. Примена методе CRITIC почиње превођењем вредности атрибута i -те алтернативе за сваки j -ти критеријум у интервал од 0 до 1. У случају да је тип екстремизације за атрибут i -те алтернативе за j -ти критеријум максимум, превођење се реализује према концепту идеалне тачке по следећој формули [3]:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

док је за вредност x_{ij} , за случај да је тип екстремизације за атрибут i -те алтернативе за j -ти критеријум минимум, примењена је следећа формула [11]:

$$R_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

Применом ове методе формирана је нормализована матрица одлучивања приказана у Табели 2.

Табела 2 – Нормализована матрица одлучивања

Извор обновљиве енергије	K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{31}	K_{32}	K_{33}	K_{34}	K_{41}	K_{42}
Биомаса	1	0,20833	0,97151	0,69027	0	0,88710	0,82075	0	0	0,25000	0,40678
Хидроенергија	0,03129	1	0,45277	0,96460	1	0,99194	0,98113	0,96352	0,98066	0,50000	0
Енергија ветра	0	0,37500	1	0,96460	0,16667	1	0	1	0,85300	0,75000	0,57062
Соларна енергија	0,08931	0	0,39280	1	0,16667	0	0,52830	0,86884	0,98259	1	1
Геотермална	0,04694	0,13056	0	0	0,33333	1	1	0,84656	1	0	0,61017

3. ПРОЦЕНА РЕЛАТИВНИХ ТЕЖИНА КРИТЕРИЈУМА И СУБКРИТЕРИЈУМА

Потребни подаци за процену вредности релативних тежина за све критеријуме и субкритеријуме су обезбеђени Упитницима, заснованим на скали са девет тачака за додељивање тежина и попуњеним у сарадњи са Одсеком за обновљиву енергију Сектора за енер-

гетску ефикасност и обновљиве изворе енергије Министарства рударства и енергетике. На основу ових Упитника израђене су Табеле 3, 5, 6, 7 и 8 ради прорачуна релативних тежина критеријума и субкритеријума.

Табела 3 – Поређење парова критеријума по циљу

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K	$\sqrt[4]{K}$	w
K ₁	1	0,20	1	5	1	1	0,169185
K ₂	5	1	5	7	175	3,637136	0,615349
K ₃	1	0,20	1	5	1	1	0,169185
K ₄	0,20	0,14	0,20	1	0,0056	0,273556	0,046282
Σ	7,20	1,54	7,20	18		5,910692	

Како би утврдили да ли је квалитет улазних података одговарајући, потребно је израчунати индекс конзистентности примењујући формулу [1]:

$$IK = \frac{\Lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Вредност Λ_{\max} представља збир производа релативних тежина критеријума и сума сваке колоне за одговарајући критеријум, приказаним у Табели 3, што даје вредност $\Lambda_{\max} = 4,216969$ и $IK = 0,072323$. Потом вршимо прорачун степена конзистентности CR према формули [12]:

$$CR = \frac{IK}{RI} \quad (4)$$

где RI представља случајни индекс конзистентности са следећим вредностима:

Табела 4 – Случајни индекс конзистентности [12]

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Тако добијамо вредност $CR = \frac{0,072323}{0,90} = 0,080359$ што

је у оквиру прихватљивог лимита од 0,1 (10%).

Исти поступак је примењен приликом поређења парова субкритеријума по техничком, економском, еколошком и социјалном критеријуму, како би, уз дозвољени степен конзистентности, биле одређене релативне тежине субкритеријума. Имајући у виду да се у постављеном проблему, приликом примене PROMETHEE II методе користе релативне тежине субкритеријума, мора се добити њихова глобална вредност. Глобалне вредности релативних тежина субкритеријума представљају производ вредности релативне тежине субкритеријума у оквиру критеријума и релативне тежине одговарајућег критеријума [12].

Табела 5 – Релативне тежине критеријума и субкритеријума

Критеријум	Релативна тежина	Субкритеријум	Релативна тежина	Субкритеријум	Глобална релативна тежина
K ₁	0,169185	K ₁₁	0,75	K ₁₁	0,126889
		K ₁₂	0,25	K ₁₂	0,042296
K ₂	0,615349	K ₂₁	0,428981	K ₂₁	0,263973

Критеријум	Релативна тежина	Субкритеријум	Релативна тежина	Субкритеријум	Глобална релативна тежина
K ₃	0,169185	K ₃₂	0,428981	K ₃₂	0,263973
		K ₂₃	0,142039	K ₂₃	0,087403
		K ₃₁	0,300225	K ₃₁	0,050794
		K ₃₂	0,099324	K ₃₂	0,016804
		K ₃₃	0,300225	K ₃₃	0,050794
K ₄	0,046282	K ₃₄	0,300225	K ₃₄	0,050794
		K ₄₁	0,5	K ₄₁	0,023141
		K ₄₂	0,5	K ₄₂	0,023141

4. ПРИМЕНА PROMETHEE II МЕТОДЕ

Решавање постављеног проблема коришћењем PROMETHEE методе обухвата три корака [1]:

- проширење структуре преференција и увођење општег критеријума,
- обogaћење графа доминације и конструкција графа вишег реда и
- експлоатација добијеног графа.

Примена првог корака обухвата увођење функције преференције доносиоца одлуке за све алтернативе, у условима постојања већег броја критеријума. Имајући у виду флексибилност методе PROMETHEE приликом примене функција преференције, на овом проблему неће бити примењена ниједна од шест општих функција већ упрошћена функција преференције према следећем [11]:

$$P_j(a_i, a_i') = 0 \text{ ако је } R_{ij} \leq R_{i'j} \quad (5)$$

$$P_j(a_i, a_i') = (R_{ij} - R_{i'j}) \text{ ако је } R_{ij} > R_{i'j} \quad (6)$$

Применом формула (5) и (6) на нормализовану матрицу одлучивања, добијамо податке приказане у Табели 6.

Табела 6 – Матрица вредности функције преференције за све парове алтернатива

Извор обновљиве енергије	K ₁₁	K ₁₂	K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃	K ₃₁	K ₃₂	K ₃₃	K ₃₄	K ₄₁	K ₄₂
Био - хидро	0,9687	0	0,5187	0	0	0	0	0	0	0	0,4068
Био - ветар	1	0	0	0	0	0,8208	0	0	0	0	0
Био - солар	0,9107	0,2083	0,5787	0	0	0,8871	0,2925	0	0	0	0
Био - гео	0,9531	0,0778	0,9715	0,6903	0	0	0	0	0	0,2500	0
Хидро - био	0	0,7917	0	0,2743	1	0,1048	0,1604	0,9635	0,9807	0,2500	0
Хидро - ветар	0,0313	0,6250	0	0	0,8333	0	0,9811	0	0,1277	0	0
Хидро - солар	0	1	0,0600	0	0,8333	0,9919	0,4528	0,0947	0	0	0
Хидро - гео	0	0,8694	0,4528	0,9646	0,6667	0	0	0,1170	0	0,5000	0
Ветар - био	0	0,1667	0,0285	0,2743	0,1667	0,1129	0	1	0,8530	0,5000	0,1638
Ветар - хидро	0	0	0,5472	0	0	0,0081	0	0,0365	0	0,2500	0,5706
Ветар - солар	0	0,3750	0,6072	0	0	1	0	0,1312	0	0	0
Ветар - гео	0	0,2444	1	0,9646	0	0	0	0,1534	0	0,7500	0
Солар - био	0	0	0	0,3097	0,1667	0	0	0,8688	0,9826	0,7500	0,5932
Солар - хидро	0,0580	0	0	0,0354	0	0	0	0	0,0019	0,5000	1
Солар - ветар	0,0893	0	0	0,0354	0	0	0,5283	0	0,1296	0,2500	0,4294
Солар - гео	0,0424	0	0,3928	1	0	0	0	0,0223	0	1	0,3898
Гео - био	0	0	0	0	0,3333	0,1129	0,1792	0,8466	1	0	0,2034
Гео - хидро	0,0156	0	0	0	0	0,0081	0,0189	0	0,0193	0	0,6102
Гео - ветар	0,0469	0	0	0	0,1667	0	1	0	0,1470	0	0,0395
Гео - солар	0	0,1306	0	0	0,1667	1	0,4717	0	0,0174	0	0

Следећи корак у примени ове методе представља конструкцију процењеног графа вишег ранга. На основу формуле (7) врши се прорачун индекса преференције за сваку од алтернатива [1], чије вредности су приказане у Табели број 7.

$$\forall a, b \in A: IP(a, b) = \sum_{j=1}^p (w_j * P_j(a, b)) \quad (7)$$

Табела 7 – Табела индекса преференције

	Биомаса	Хидроенергија	Енергија ветра	Соларна енергија	Геотермална енергија	Сума
Биомаса	-	0.269264893	0.140680754	0.32710519	0.568672631	1.305723468
Хидроенергија	0.305862329	-	0.126213173	0.193765448	0.486702974	1.112543925
Енергија ветра	0.216770342	0.165705324	-	0.233600123	0.55408989	1.17016568
Соларна енергија	0.221452679	0.051515501	0.051858025	-	0.406332328	0.731158533
Геотермална	0.136381285	0.017814192	0.045708956	0.079693492	-	0.279597925
Сума	0.880466636	0.50429991	0.364460907	0.834164254	2.015797823	-

Следећи корак у примени ове методе представља коришћење релације вишег ранга и реализује се прорачуном позитивног и негативног тока вишег реда (излазни и улазни ток) за сваку алтернативу из скупа А према формулама [1]:

$$T^+(a) = \frac{1}{p-1} \sum_{x \in A} IP(a, x) \quad (8)$$

$$T^-(a) = \frac{1}{p-1} \sum_{x \in A} IP(x, a) \quad (9)$$

Имајући у виду да ће се приоритизација обновљивих извора енергије извршити применом методе PROMETHEE II, вредности за коначно рангирање – чист ток (баланс тока) [1] се израчунава према следећој формули:

$$T(a) = T^+(a) - T^-(a) \quad (10)$$

Табела 8 – Приказ вредности позитивног, негативног и чистог тока преференције

	Позитивни	Негативни	Чисти	Ранг
Биомаса	0.326430867	0.220116659	0.106314208	3
Хидроенергија	0.278135981	0.126074978	0.152061004	2
Енергија ветра	0.29254142	0.091115227	0.201426193	1
Соларна енергија	0.182789633	0.208541063	-0.02575143	4
Геотермална	0.069899481	0.503949456	-0.434049974	5

У складу са резултатима примене методе PROMETHEE II на постављени проблем, приоритизација обновљивих извора енергије би требала да буде усмерена на енергију ветра и хидроенергију, јер су се према утврђеним субкритеријумима и вредностима алтернатива за сваки субкритеријум понаособ, показали као најбоље решење.

ЗАКЉУЧАК

Примена вишеатрибутивног одлучивања на област обновљивих извора енергије и уопште област енергетике је логичан избор. Њена сложеност и мултидимензионалност, као и конфликтност интереса појединих димензија, управо представља могућност да методе вишеатрибутивног одлучивања дају пун допринос доношењу оптималне одлуке. Примена математичких модела на комплексност избора одговарајућег извора енергије и њихову правилну диверзификацију представља један од важних инструмената којим доносиоци одлуке могу извршити приоритизацију обновљивих извора енергије, али и смањити ниво одговорно-

сти и ризика за доношење овакве одлуке. Такође, доношењем одлуке о приоритизацији, базираној на некој од метода вишеатрибутивног одлучивања смањује се субјективност доносиоца одлуке и скраћује време за доношење оптималног решења.

Применом методе PROMETHEE II, на основу постављених критеријума и расположивих података о вредностима алтернатива за сваки критеријум, дошло се до закључка да је приоритизацију обновљивих извора енергије у Републици Србији потребно усмерити на енергију ветра, хидроенергију и соларну енергију.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чупић, М., Сукновић, М., *Одлучивање*, Факултет организационих наука, Београд, 2010.
- [2] Милићевић, М., Жупац, Г., "Објективни приступ одређивању тежине критеријума", *Војнотехнички гласник*, LX (1), (2012), 39-56.
- [3] Канкараш, М., Димић, С., Цветковић, И., "Рангирање кандидата у процесу селекције људских ресурса", *XLII Симпозијум о операционим истраживањима*, V(1), (2015), стр. 466-469.
- [4] Нацрт Стратегије развоја енергетике Републике Србије за период до 2025. године са пројекцијама до 2030. године.
- [5] Stoffregen, A., Schuller, O., *Primary Energy Demand of Renewable Energy Carriers, Part I*, PE International AG, Echterdingen, April 2014.
- [6] Financing Renewable Energy in the European Energy Market, Final report, Ecofys by order of European commission, Utrecht, 2011.
- [7] Akella, A.K., Saini, R.P., Sharma, M.P., "Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems", *Renewable energy*, (34), (2009).
- [8] Reith, S., Kolbel, T., Schlaermann, P., Pelliyyone, A., Allansdottir, A., "Geo-elec deliverable num 4.4, Public Acceptance of geothermal electricitiz production", *Report on public acceptance*, April 2013.
- [9] Ipsos Global Energy Barometer: Attitudes Toward Energy Sources, Washington DC, February 2010.
- [10] The state of renewable energies in Europe, edition 2013, 13th EurObserv'ER Report, Observ'ER, Paris, 2013.
- [11] Athawale, V. M., Chakraborty, S., "Facility Location Selection Using PROMETHEE II Method", *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dhaka, (January 9-10), (2010), 60.
- [12] Saaty, T., Vargas, L., *Models, Methods, Concepts&Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Springer Science+Bussines Media, New York, 2001.



УЛОГА ОДРЖИВЕ ЕНЕРГИЈЕ У ОСТВАРИВАЊУ РАЗВОЈА

THE ROLE OF SUSTAINABLE ENERGY IN ACHIEVING DEVELOPMENT

САНДРА ЈЕДНАК

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд, sjednak@fon.bg.ac.rs

ДРАГАНА КРАГУЉ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд, kragulj@fon.bg.ac.rs

Резиме: Енергија је значајан фактор за производњу, свакодневни живот и климатске промене. Сматра се ресурсом одрживости и једним од циљева за остваривање одрживог развоја. Потребно је деловати на омогућавање приступа енергији, повећање употребе обновљивих извора енергије и унапређење енергетске ефикасности да би се повећала конкурентност, смањили трошкови и извршила диверсификација енергетског портфолиа. Те промене ће довести до развоја индустрије и повећања производње. Утицаће и на смањење сиромаштва, повећавање квалитета живота и очувања животне средине. Због тога, одржива енергија пружа могућности за постизање одрживог економског развоја. У којој мери ће енергија имати утицај на остваривање развоја зависи од споредних политика и програма.

Кључне речи: одрживи развој, одржива енергија, обновљиви извори енергије, енергетска ефикасност.

Abstract: Energy is an important factor of production, life and climate changes. It is considered as resource of sustainability and one of the goals of sustainable development. It is necessary to affect on access to energy, increased use of renewable energy sources and improve energy efficiency to increase the competitiveness, reduce costs and make diversification of the energy portfolio. These changes will lead to the industry development and production increase. Also, it will affect the poverty reduction, the quality of life improvement and environmental protection. Due to that, sustainable energy provides opportunities for achieving sustainable economic development. To what extent the energy will have an impact on the achievement of development depends on the implemented policies and programs.

Keywords: sustainable development, sustainable energy, renewable energy sources, energy efficiency

1. УВОД

Производња и потрошња енергије утичу на привредне активности, животни стандард и климатске промене. Усмереност на одрживу енергију може бити средство за остваривање економског развоја, смањивања сиромаштва и очување животне средине.

Одрживи енергетски развој заснива је на одрживој енергији, омогућавању приступа енергији и повећању енергетске ефикасности. За спровођење одрживог енергетског развоја неопходна је трансформација енергетског сектора, обезбеђивање одговарајућих извора финансирања и повећање инвестиција у производњу одрживих енергетских производа и услуга [1]. Енергија, поред ваздуха, воде, хране, земље, минерала и руда је основни ресурс одрживости. Одрживост ресурса подразумева: 1) да се не користи више ресурса него што се они могу произвести у садашњем тренутку и 2) да се не искористе сви ресурси данас, него оставити ресурсе за будуће генерације које ће их користити за привредне активности [2]. Неопходно је ефикасно користити ресурсе, односно, смањити еко-

номске трошкове, а повећати животни стандард становништва и заштиту животне средине. На овај начин спроводе се и остварују постављени циљеви одрживог развоја.

Циљ рада је да се покаже важност одрживе енергије и како та одрживост може утицати на одрживи и економски развој у свету.

2. ОДРЖИВИ РАЗВОЈ И ЦИЉЕВИ

Најчешћа цитирана дефиниција одрживог развоја је да је то "развој који задовољава потребе садашњих генерација без угрожавања могућности будућих генерација да задовољи своје потребе" [3,4]. Одрживи развој подразумева конвергенцију између три стуба: 1) економског развоја, 2) социјалне једнакости и 3) заштите животне средине. Из овога следи да је одрживи развој оптимално баласнирање између економских, социјалних и фактора животне средине у институционалим оквирима. У складу са тим постављени су циљеви одрживог развоја тзв. Миленијумски циљеви који су требали да буду испуњени до 2015. године. Међутим,

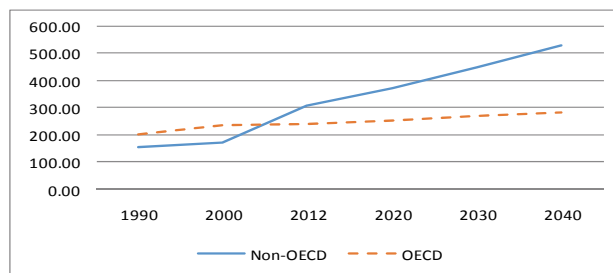
септембра 2015. године, УН усваја нову развојну стратегију – 2030 агенда за одрживи развој под називом „Трансформација нашег света: 2030 Агенда за одрживи развој“. Тада је и дефинисано 17 нових циљева одрживог развоја који су заменили Миленијумске циљеве. Нови циљеве су усмерени на окончање сиромаштва, борбу против неједнакости и неправде, и борбу против климатских промена до 2030. године. Циљеве су: 1) непостојање сиромаштва, 2) непостојање глади, 3) добро здравље и благостање, 4) квалитетно образовање, 5) родна једнакост, 6) чиста вода и канализација, 7) приступачна и чиста енергија, 8) приступачан посао и економски раст, 9) индустрија, иновација и инфраструктура, 10) смањивање неједнакости, 11) одрживи градови и заједнице, 12) одговорна потрошња и производња, 13) климатске промене, 14) живот испод воде, 15) живот на земљи, 16) мир и правда јаким институцијама и 17) партнерство за циљеве [1].

Приступачна и чиста енергија је један од циљева одрживог развоја. Енергија је неопходна у свим активностима. Она представља значајан фактор за производњу, свакодневни живот и климатске промене. Приступ енергији олакшава и повећава квалитет живота становништва као и привредне активности. Према статистикама 1) један од петоро становника на глобалном нивоу (1,2 милијарди људи) нема приступ електричној енергији, 2) три милијарде људи (40% светске популације) користе дрво, угља и животињски отпад за кување и грејање и 3) енергија значајно утиче на климатске промене, те је смањивање интензитета угљеника из енергије дугорочан циљ за климатске промене [1]. Према УНДП, одржива енергија је „могућност за промену живота, економије и планете“. Ова енергија омогућава приступ модерним енергетским услугама, унапређење енергетске ефикасности и повећање употребе обновљивих извора енергије. До 2030. године свет треба да повећа три пута инвестиције у инфраструктуру одрживе енергије на годишњем нивоу. То значи да би на светском нивоу требало повећати инвестиције са 400 милијарди долара на 1,25 трилион долара. Ово би допринело остваривању једног од циљева одрживог развоја.

3. ОДРЖИВА ЕНЕРГИЈА

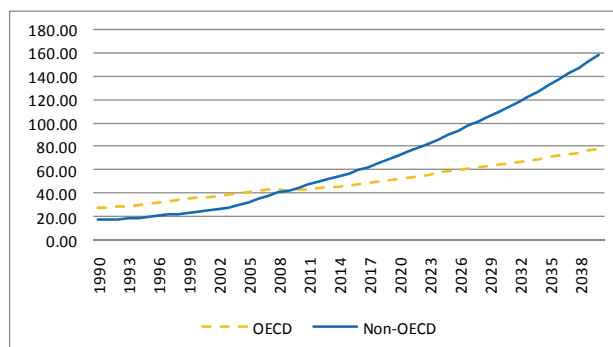
Економски раст заједно са спроведеним структурним реформама утиче на економски развој и животни стандард. Са вишим нивоом развоја повећава се тражња за енергијом, односно, њена потрошња. Економски развој отвара нова радна места и пословне активности што повећава потребу за енергијом. Ово је изражено у земљама које не припадају ОЕЦД-у, нарочито у земљама Азије. Последњих тридесет година ове земље имају већи економски раст него земље ОЕЦД-а. У периоду 2012 -2040. године, за земље које не припадају ОЕЦД-у предвиђен је економски раст од 4,2 %, док за земље ОЕЦД-а предвиђена стопа раста је 2,0 %. Земље Азије имају највећи раст, а међу њима прве су Индија са стопом економског раста од 5,5% и Кина са стопом раста од 4,7%. Значајан раст има и Африка. Од земаља ОЕЦД-а највећи раст имају Мексико и Чиле по стопи од 3,1%. Земље са већом стопом економског раста имају и већу тражњу за енергијом, односно,

већу потрошњу енергије. Ово је приказано графиконима 1 и 2.



Извор: International Energy Outlook 2016

Графикон 1. Светска потрошња енергије за период 1990 - 2040. год. (квадриљон Btu)



Извор: International Energy Outlook 2016

Графикон 2. Светски БДП за период 1990 - 2040. год., (трилиона долара 2010.год.)

Током прошлог века светска популација повећала се 3,7 пута, док је тражња за финалном енергијом порасла више од тридесет пута. Иако је постојао раст становништва, потрошња, односно, тражња за енергијом је била већа. Потрошња енергије се и даље повећава и тај раст је већи од раста становништва. Према одређеним проценама, у периоду од 2005. до 2025. године очекује се повећање потрошње примарне енергије за 40% [5], у периоду од 2010. до 2035. године за 33% [6], а у периоду од 2012. до 2040. године за 48% [7]. Последњих тридесет година прошлог века светска популација се повећавала по стопи од 1,6%, светски бруто домаћи производ (БДП) по стопи од 3%, док се потрошња примарне енергије повећавала по просечној годишњој стопи од 2,1% [8]. Због свега наведеног важно је донети одговарајућу стратегију и политику развоја енергетике.

Одрживи развој није могућ без одрживе енергије. Три циља су постављена за остварење одрживе енергије: 1) већи приступ енергији, 2) већа употреба обновљивих извора енергије и 3) повећање енергетске ефикасности.

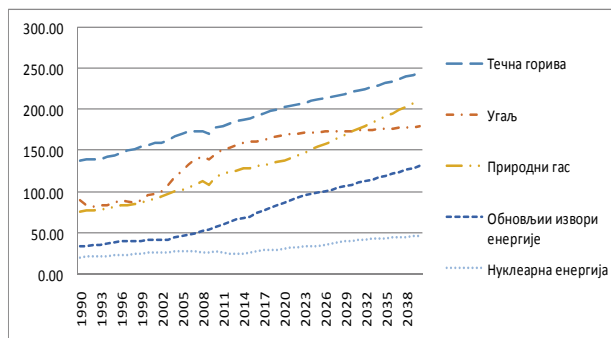
1) *Приступ енергији.* У земљама са нижим дохотком становништво има ограничен или уопште нема приступ енергији. Становништво у овим земљама користи традиционалне изворе енергије као што су: дрво и угља. Ови извори им омогућају обављање свакодневних животних активности. Међутим, квалитет живота им је низак јер употребом ових извора енергије утичу на своје здравље. Поред тога, немогућност коришћења електричне енергије значајно утиче на живот људи. У развијеним земљама и регионима готово је не-

могуће замислити живот без употребе електричне енергије, почевши од кувања, замрзавања намерница, коришења кућних апарата и осветљења. У земљама где становништво и предузећа немају адекватан приступ електричној енергији, значајно је отежан живот и обављање пословне активности. Због тога, приступ и употреба електричне енергије повећава квалитет живота, здравље, образовање, запосленост и обим пословних активности. Да би се задовољиле основне енергетске потребе, економичност, ефикасност и одрживост, неопходно је да се направи такав енергетски портфолио који ће испуњити економске, социјалне и ресурсне захтеве појединих сектора, индустрија, региона и привреда. Поред фосилних горива, који су и даље доминантни извори енергије, све већи значај имају обновљиви извори енергије.

2) *Обновљиви извори енергије.* Енергетска сигурност, ефекти фосилних горива на загађивање животне средине и високе цене нафте повећавају употребу обновљивих извора енергије. Просечна годишња стопа раста употребе ових извора је 2,6 % [7]. Поред тога, ови извори учествују са 15% у глобалном енергетском портфолију [6].

Обновљиви извори енергије су неисцрпни и чисти. То су ветар, вода, сунце, биомаса и геотермална енергија. Трошкови чувања ових енергија се смањују и постају конкурентни фосилним горивима. Добијањем енергије из обновљивих извора смањује се ризик климатских промена и загађивања животне средине. Због наведених разлога, све више се повећава тражња за овим изворима енергије. Повећањем инвестиција у ове изворе повећава се запосленост, економски раст и енергетска сигурност земље. У 2015. години инвестиције у обновљиве изворе енергије (ветар, сунчеву енергију, таласе и биомасу) за производњу електричне енергије су порасле на 187 милијарди долара, док су инвестиције у природни гас, угаљ и нафту износиле 157 милијарди долара.

Хидроцентралне и енергија ветра су доминантни обновљиви извори енергије. Заједно учествују са две трећине укупног повећања обновљивих извора енергије које се користи за производњу електричне енергије за период 2012-2040. год. [6]. На пример, у Данској близу 20% електричне енергије производи се од енергије ветра, а у Бразилу 83% производње електричне енергије се остварује путем хидроцентрали. Ипак, у производњи енергије и даље имају примарну улогу фосилна горива, нарочито течна горива, али обновљиви извори енергије имају тенденцију сталног раста. У будућем периоду, према пројекцијима, улога угља као извора енергије се смањује. Однос раста обновљивих извора енергије у односу на раст осталих извора енергије је приказано на графикаону 3.



Извор: International Energy Outlook 2016

Графикон 3. Светска потрошња енергије по изворима енергије за период 1990 - 2040. год. (квадриљон Вtu)

Поред диверсификације извора енергије, потребно је да се оствари енергетска ефикасност. Енергетска ефикасност је значајно питање у стратегијама одрживог развоја.

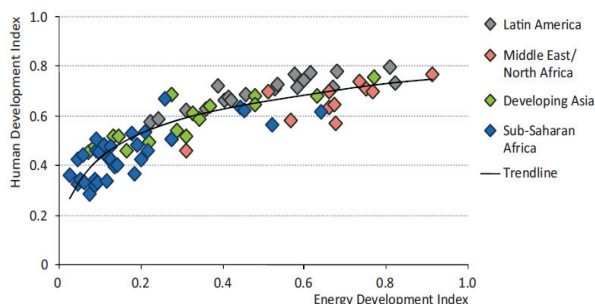
3) *Енергетска ефикасност* је битна јер се производи више енергије из постојећих ресурса. Енергетска ефикасност повећа продуктивност, економски раст и смањује трошкове. Повећање енергетске ефикасности омогућава задовољење све веће тражње за енергијом и смањивање климатских промена. Енергетска ефикасност повећава конкурентност и благостање тако што се смањује непотребна потрошња енергије, обезбеђује енергетска сигурност и смањују емисиони гасови који загађују животну околину. Због тога, политика за енергетску ефикасност постаје приоритет у многим земљама. За унапређење енергетске ефикасности потребно је одредити који су то сектори који имају потенцијал за повећање ефикасности, те у те секторе треба улагати. Према проценама [6], инвестиције у енергетску ефикасност широм света на годишњем нивоу од 170 милијарди долара могу генерисати просечну стопу приноса од 17%.

Постоје неколико индикатора који се користе за енергетску ефикасност. То су: ратио који се добија као количник укупне понуде примарне енергије (ТПЕС) и бруто домаћег производа (БДП) и ратио који показује однос укупне финалне потрошње по јединици (ТФЕЦ) и нивоа бруто домаћег производа (БДП). Поред наведених, постоје и други индикатори. Последњих тридесет година већина земаља је смањила укупну потрошњу енергије по јединици/БДП. У тим земљама спроведене су различите политике и програми за повећање енергетске ефикасности која је утицала на смањивање енергетске интензивности. Енергетска интензивност је укупна потрошња примарне или финалне енергије. Западна Европа је регион који има најнижу енергетску интензивност, док је у Кини, Африци и Блиском истоку два пута већа енергетска интензивност него у Европи. Земље Латинске Америке су 15 % изнад европског нивоа, док Индија и друге земље Азије су на нивоу светског просека [9]. Према одређеним студијама Европска унија има највећу енергетску ефикасност, а највећу имају Немачка и Италија. Потом следе, Кина, Француска, Јапан, УК и Шпанија.

4. ЕНЕРГИЈА И РАЗВОЈ

Потрошња енергије је повезана са економским растом и благостањем. Свака земља би морала да има конкурентан и диверсификован енергетски портфолио да би развила домаћу индустрију и повећала производњу. На тај начин би се остварио економски раст и развој и мања зависност од увоза.

Колико енергија може утицати на развој је битно питање. Због тога је Међународна агенција за енергију (ИЕА) развила индикатор индекс енергетског развоја (Energy Development Index –ЕДИ). Овај индекс представља енергију као фактор развоја земље и показује развој енергије на нивоу земље. ЕДИ мери прогрес земље ка модерним горивима и модерним енергетским услугама. Овај индикатор је нарочито значајан за земље у развоју, јер мало повећање потрошње енергије је повезано са унапређењем квалитета живота. База података ЕДИ разматра и анализира 80 земаља. То су углавном земље у развоју или неразвијене земље. Веће вредности ЕДИ показују већи развој земље. Највеће вредности ЕДИ имају земље Блиског истога, Северне Африке и Латинске Америке, док најниже вредности ЕДИ имају земље подсахарске Африке. Разлог за више вредности ЕДИ је избалансираност доприноса свих подиндикатора ЕДИ. Поред тога, земље са вишим вредностима ЕДИ су извознице нафте. То су Либија, Венецуела и Аргентина. Када се посматра период од 2002. године до данас, Кина и Бразил су имали највеће повећање ЕДИ [5]. У Светком енергетском прегледу 2012 [5] приказана је компарација енергетског развоја и хуманог развоја. Графикон 4 показује тај однос, односно, однос ЕДИ и ХДИ (индекс хуманог развоја).



Извор: преузето са World Energy Outlook 2012. IEA Ch. 18
Графикон 4. Компарације ЕДИ и ХДИ, 2010. год

На графикону 4 приказано је да земље са вишим ЕДИ имају и већи ХДИ, што значи да ако постоји већи енергетски развој постоји и виши ниво хуманог развоја. Земље Блиског истога и Северне Африке имају ве-

ће вредности ЕДИ и ХДИ. Разноликост постоји у земљама Азије и Латинске Америке. Земље подсахарске Африке имају најмање вредности ЕДИ и ХДИ, што показује да су на ниском нивоу развоја [10]. Неопходно је да се развију технологије и инфраструктура за употребу енергије, као и да коришћење енергије буде економично. Инвестиције у енергију, и то у оне делове које показују да су недовољно развијене или неискоришћене, могу остваривити веће вредности ЕДИ што отвара могућност и за енергетски развој а тиме и виши ниво развоја земље.

5. ЗАКЉУЧАК

Енергија је један од фактора економског и одрживог развоја. Као један од постављених Миленијумских циљева, а касније Глобалних циљева одрживог развоја, она значајно утиче на могућност развоја и смањивање сиромаштва. Омогућавање приступа и употребе енергије, коришћења обновљивих извора енергије и повећања енергетске ефикасности утиче на смањивање сиромаштва и побољшање квалитета живота. Одрживом енергијом утиче се на смањивање трошкова и проналажење одговарајућег енергетског портфолија, а што омогућава економски раст и развој и остваривање постављених циљева одрживог развоја.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] УНДП - UNDP (United Nations Development Programme)
- [2] Jednak, S., Kragulj, D., Achieving Sustainable Development and Knowledge-based Economy in Serbia, *Management - Journal for Theory and Practice*, 2015, 75, p. 1-12
- [3] World Commission on Environment and Development, the Brundtland Commission Report: Our Common Future, 1987.
- [4] Kragulj, D., *Ekonomija - Osnovi mikroekonomske i makroekonomske analize*. Kragulj. Beograd, 2014.
- [5] International Energy Agency (IEA)
- [6] Sustainable energy for all.
- [7] International Energy Outlook 2016.
- [8] Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године
- [9] World Energy Perspective: Energy Efficiency Policies 2013
- [10] World Energy Outlook 2012. IEA

**ФИНАНСИЈЕ
И БАНКАРСТВО**



ДЕАХП МЕТОД ЗА ВРЕДНОВАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ У БАНКАРСКОМ СЕКТОРУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

DEAHP METHOD FOR EVALUATION OF THE BANKING SECTOR PERFORMANCE IN THE REPUBLIC OF SERBIA

АНА КРСТИЋ

Економски факултет, Крагујевац, anakrstic@kg.ac.rs

ПРЕДРАГ МИМОВИЋ

Економски факултет, Крагујевац, mimovicp@kg.ac.rs

МИЛЕНА ЈАКШИЋ

Економски факултет, Крагујевац, jaksicm@kg.ac.rs

Резиме: У раду је показана комбинована и интегрисана примена Аналитичког хијерархијског процеса (Analytic Hierarchy Process – АХП), као метода за подршку вишекритеријумском одлучивању и Анализе обавијања података (Data Envelopment Analysis – ДЕА), непараметарског приступа заснованог на линеарном програмирању, у анализи и вредновању перформанси банкарског сектора Републике Србије. Појединачна примена оба метода има своје предности али и недостатке. Кроз превазилажење ових недостатака синергетским ефектом интегрисане примене ових метода, добијени хибридни ДЕАХП (Data Envelopment Analytic Hierarchy Process) метод, требало би да потпунију и објективизирану оцену перформанси банкарског сектора.

Кључне речи: Перформансе банака, Ефикасност, Аналитички хијерархијски процес, Анализа обавијања података, Ефикасност, Рангирање.

Abstract: The paper presents the combined and integrated application of Analytic Hierarchy Process - AHP as a method to support multi-criteria decision-making and Data Envelopment Analysis - DEA, the non-parametric approach based on linear programming, in the analysis and evaluation of the performance of the banking sector in the Republic Serbia. A single application of each method has its advantages and disadvantages. Surpassing these disadvantages by the synergetic effect of the integrated application of these methods, resulted in hybrid DEAHP (Data Envelopment Analytic Hierarchy Process) method, which should give more complete and objectified evaluation of the performance of the banking sector.

Keywords: Bank performance, Analytic hierarchy process, Data envelopment analysis, Eficiency, Ranking.

1. УВОД

Банкарски сектор у Србији је и поред светске економске кризе и великих проблема у домаћој привреди остао стабилан. Правремено препознавање пословних и других изазова окружења и дефинисање и спровођење одговарајућих стратегија као успешног одговора тим изазовима јачало је перформансе банкарског сектора до нивоа одрживог раста из 2007. године. С тим у вези, приоритети банкарског сектора били су јачање капиталне базе, рочно и валутно реструктурирање извора средстава са структуром пласмана и добро управљање нивоом изложености банака ризицима и квалитетом пласираних средстава.

У настојању да се одговори изазовима времена у којем банке послују и обезбеде услови за адекватно и перформансно пословање, у банкарској теорији и

пракси је развијен низ техника и метода за вредновање базичних финансијских перформанси банака. За потребе мерења финансијских перформанси банака користе се бројни индикатори, који се обично сврставају у следећих неколико група: индикатори ликвидности, индикатори солвентности, индикатори финансијске структуре, индикатори ефикасности, индикатори продуктивности и индикатори профитабилности. Преглед ранијих истраживања, међутим, показује ограничену ефикасност традиционалних финансијских метода за мерење перформанси. Полазећи од вишедимензионалне природе проблема мерења перформанси, од истраживача који се баве овим проблемом се очекује да поседују добро теоријско разумевање природе перформанси у смислу способности да идентификују мере примерене контексту истраживања, и ослањање на јаку теоријску подлогу у погледу приро-

де мера, односно које мере перформанси комбиновати у одређеној ситуацији и на који начин [1]. Вишекритеријумска анализа се у пракси показала као погодан теоријско-методолошки инструментаријум, за обухватање и решавање бројних проблема финансијског одлучивања, како у компанијама тако и у финансијским институцијама. Разноврсна природа фактора који утичу на процес финансијског одлучивања, комплексност финансијског, пословног и економског окружења, субјективна природа многих финансијских одлука, су само неке од карактеристика финансијских одлука, које омогућају примену вишекритеријумског методолошког оквира.

У том смислу, у раду је показана интегрисана примена Аналитичког хијерархијског процеса (АХП) као метода за подршку вишекритеријумском одлучивању и Анализе обавијања података (ДЕА) у поступку вредновања перформанси и оцене ефикасности у банкарском сектору Републике Србије. Студија случаја се базира на емпиријском истраживању [2], чији је циљ био рангирање банака у Србији АХП методом, а који је обухватио, 12, по тржишном учешћу, највећих банака у Србији у 2009. години.

Рад је организован на следећи начин: најпре је дат преглед референтне литературе из области вредновања банкарских перформанси, а затим је у кратким цртама објашњен концепт интегрисане примене АХП и ДЕА метода. Након тога је формиран АХП модел за оцену и рангирање банака, са три нивоа, шест критеријума, 18 подкритеријума и 12 алтернатива. Поређењем алтернатива тј. банака у односу на изабране (под) критеријуме, према скали 1-9, уз помоћ софтверског пакета *Superdecision*, на бази ауторских процена, одређени су њихови приоритети и извршено рангирање. На крају су АХП процене коришћене као *инпут* у ДЕА моделима за оцену ефикасности банака у односу, најпре на појединачне критеријуме, а онда и у односу на све критеријуме истовремено.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Постоји бројна и разноврсна литература која се односи на мерење перформанси банкарског сектора. Неки аутори [3], у анализи банкарских перформанси користе вишедимензионални индекс који укључује профитабилност, цене банкарских услуга и удео на кредитном тржишту; други [4], све мере банкарских перформанси, повезане са критичним факторима успеха, групишу у седам категорија: 1) профитабилност, 2) ефикасност и продуктивност, 3) управљање људским ресурсима, 4) менаџмент ризиком, 5) ефективност продаје, 6) квалитет услуга и 7) позиционирање у односу на конкуренцију. Рацио анализе су међу најчешће коришћеним приступима ([5]; [6]; [7]; [8]). Други популарни методи који се користе у мерењу банкарских перформанси су мултиваријантна статистичка анализа [9], *греј* релациона анализа [10] и CAMELS рациа, које чини шест компонената: адекватност капитала, квалитет aktive, квалитет менаџмента, профитабилност, ликвидност и осетљивост на тржишни ризик. [11] мере финансијске перформансе државних, приватних и

страних банака коришћењем CAMELS методе током 2008. године. Data Envelopment Analysis (ДЕА) је један од најчешће коришћених приступа за мерење банкарских перформанси ([12]; [13]; [14]; [15]). Кантор и остали., [16], користе ДЕА и приступ рачуноводства базираног на трошковима у свом истраживању. Овај интегрисани приступ пружа менаџерима квантитативне бенчмарк показатеље перформанси у њиховим специфичним пословним активностима. Истраживање је спроведено на 250 филијала великих банака које послују на Средњем Истоку. Weiguo & Ming [17], користе ДЕА метод на случају 5 највећих Америчких и 4 Кинеске банке, закључујући да мерцери и аквизиције имају више ефекта на ефикасност кинеских него америчких банака. Kumar & Gulati [18] користе ДЕА метод за оцену ефикасности, ефективности и перформансе 27 државних банака у Индији и закључују да висока ефикасност не имплицира високу ефективност. Такође закључују да постоји строго позитивна повезаност између ефективности и перформанси. Paradi & Zhu [19], сумирају преко 80 научних радова у 24 земље, на тему примене ДЕА метода у оцени ефикасности и перформанси банака. У мерењу банкарских перформанси у научној и стручној литератури често су коришћени и методи вишекритеријумске анализе. ([20]; [21]). Frei и остали [22], користе АХП метод као алтернативу ДЕА методу у мерењу банкарских перформанси и показују повезаност финансијских и оперативних перформанси. Yurdakul & Ic [23], анализирају банкарске перформансе користећи АХП са финансијским и нефинансијским критеријумима перформанси у процени кредитног ризика. Albayrak & Etenal [24], анализирају финансијске и нефинансијске критеријуме у евалуацији перформанси турских банака користећи фази АХП метод; Secme et al [25], врше фазиевалуацију банкарског сектора у Турској помоћу АХП и ТОПСИС метода; Doumpo & Zorounidis [26], показују примену вишекритеријумске методологије, тачније ПРОМЕТЕ II (PROMETHEE II) метода у рангирању банака, с посебним освртом на осетљивост решења на промену релативне важности изабраних критеријума; Wu и остали [27], предлажу фазивишекритеријумски приступ за мерење банкарских перформанси базиран на БСЦ (Balanced Score Card) оквиру, комбинујући фазианалитички хијерархијски процес (ФАХП), ТОПСИС, ВИКОР и метод једноставних просечних тежина (SAW) итд. Aruldoss и остали [28], дају добар преглед апликација вишекритеријумске и фазивишекритеријумске анализе у домену банкарског пословања, Hunjak & Jakovčević [29] анализирају расположиве вишекритеријумске методе за поређење и рангирање банака, док у [30] наводе карактеристичне проблеме везане за банкарско пословање у којима је примењен АХП: процена цене банкарских депозита, одлуке о маркетиншким стратегијама банака, избор локације банке, оцена банкарских филијала, одлуке о избору ИТ система банака, одлуке о људским ресурсима банака итд.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

У ДЕАХП моделу неког проблема, ДЕА метод се користи за деривирање локалних приоритета елемената

одлучивања из матрице поређења посматраних елемената у АХП моделу. Као што Раманатхан сугерише, елементи a_{ij} , $a_{ij} > 0$, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ii} = 1$, за свако i , АХП матрице поређења, постају елементи ДЕАХП матрице поређења, прилагођене за примену ДЕА метода, у циљу израчунавања локалних приоритета. Сваки ред матрице је посматран као типичан ДМУ, а свака колона као један излаз. Осим тога, матрица садржи и колону тзв. *дами* тј. фиктивног улаза, који узима вредност 1, за сваку ДМУ, у циљу примене ДЕА метода.

Раманатхан доказује да се применом ДЕА метода на АХП матрицама поређења, добијају објективизирани вредности приоритета елемената одлучивања, чиме се умањује субјективност процена код АХП метода, и елиминише инверзија ранга, до које долази додавањем или изузимањем ирелевантне алтернативе, што је карактеристичан проблем за примену АХП метода. Овако израчунате ДЕА ефикасности могу бити интерпретиране као локални приоритети јединица одлучивања. На крају, ДЕА се користи и за агрегацију коначних приоритета елемената одлучивања. Када се, у том смислу, користи ДЕА приступ, алтернативе се посматрају као јединице одлучивања ДМУ, а њихови локални приоритети израчунати у односу на сваки критеријум, као излази, уз коришћење колоне *дами* улаза. С друге стране, за разлику од класичног ДЕА приступа, који мери само релативну ефикасност, применом ДЕАХП метода, који, имплицитно, укључује и способност АХП да обухвати и квантитативне и квалитативне факторе процеса одлучивања, добија се потпунија оцена перформанси посматраних јединица одлучивања.

4. ФОРМИРАЊЕ ДЕАХП МОДЕЛА И РЕЗУЛТАТИ

Анализа пословања банака има за циљ утврђивање и оцену квалитета њиховог пословања, односно утврђивање бонитета банака. Поуздана и адекватна оцена перформанси банака, као завршна фаза анализе, потребна је интерним и екстерним корисницима информација о пословању конкретне банке. При томе, треба имати у виду да оцена банкарских перформанси може имати ужи и шири приступи. Ужи приступ се односи на испитивање и оцену финансијских перформанси банака на основу информација из званичних финансијских извештаја (биланс стања и биланс успеха). У питању су перформансе финансијског положаја и зарађивачке способности банака. Широ приступ оцене перформанси укључује и све остале аспекте банкарског пословања (квалитет менаџмента, тржишна позиција, организациона структура, итд).

У овом случају, рангирање банака применом АХП метода (Јакшић и остали, 2011) је базирано на ужем концепту оцене банкарских перформанси, односно третира кључне финансијске перформансе банака (ликвидност, адекватност капитала и профитабилност). У циљу обезбеђења валидне и поуздане оцене финансијских перформанси конкретне банке поштовани су следећи захтеви:

1. посматрани временски период је 2009. година;
2. обезбеђени су званични билансни подаци, односно финансијски извештаји 12, према тржишном учешћу у 2009. години, највећих банака у Србији (Исто, стр. 66);
3. извршен је избор и квантификација одређених индикатора, који показују финансијски положај банака;

Анализа финансијских перформанси банака заснива се на рачуној анализи, која податке за израчунавање индикатора користи из примарних финансијских извештаја (биланс стања и биланс успеха). Иако финансијски извештаји рефлектују историјски аспект пословања банака, они још увек представљају најобјективнију и најадекватнију основу за аналитички компетентну и валидну оцену финансијских перформанси банака. Поред финансијских извештаја, као примарних извора информација, у вредновању перформанси банака користе се и бројни допунски, билансни и ванбилансни, извори информација. Важне информације за евалуацију перформанси банака могу се добити и од специјализованих рејтинг агенција, консалтинг фирми и гранских асоцијација.

АХП модел рангирања банака у Србији

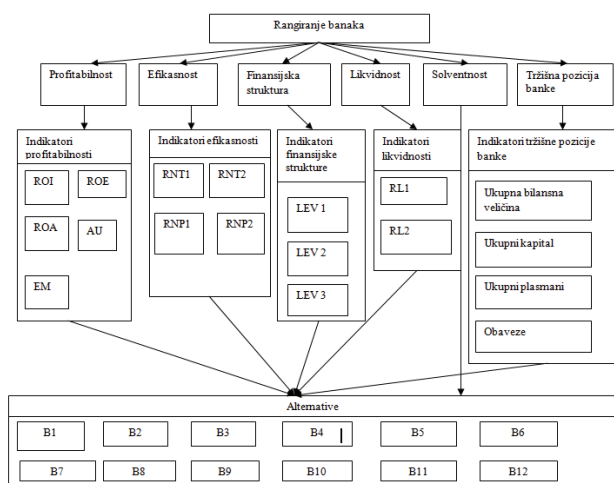
У овом примеру, за изградњу хијерархијског модела за рангирање банака коришћен је софтверски пакет *Superdecisions*¹. Најједноставнији хијерархијски модел има кластер циља који се састоји од елемената циља, кластер критеријума који се састоји од елемената критеријума и кластер алтернатива који садржи елементе алтернатива. Кластер циља је топ ниво у хијерархијском моделу, а у нашем примеру циљ је рангирање посматраних банака. Кластер критеријума чине према ужем концепту оцене банкарских перформанси, следећи финансијски критеријуми, релевантни за евалуацију и рангирање банака: профитабилност, ефикасност, ликвидност, солвентност, финансијска структура и тржишна позиција банке.

У оквиру сваког од ових критеријума дефинисани су одговарајући индикатори, као подкритеријуми, чиме је остварен висок ниво детаљности и реалније презентације проблема а што доприноси већој објективности у приступу и оцени. У том контексту, формиран су и следећи кластери подкритеријума: 1) кластер индикатора профитабилности, кога чине следећи индикатори: *вредност РОА рација*, *вредност ЕМ рација*, *вредност РОЕ рација* и *вредност индикатора продуктивности (АУ)*; 2) кластер индикатора ефикасности: *вредност РНТ1 рација*, *вредност РНТ2 рација*, *вредност РНП1 рација* и *вредност РНП2 рација*; 3) индикатора финансијске структуре: *левериџ1*, *левериџ2* и *левериџ3*; 4) кластер индикатора ликвидности: *вредност РЛ1 рација*, *вредност РЛ2 рација*; 5) кластер индикатора тржишне позиције банке: *укупна билансна величина*, *укупни капитал*, *укупни пласмани* и *обавезе*. Кластер алтернатива чине следеће банке:

¹ www.superdecisions.com/~saaty/.../SuperDecisionsManualMar2005.doc

- 1) Банка Intesa
- 2) Војвођанска банка
- 3) Raiffeisen банка
- 4) Комерцијална банка
- 5) АИК банка
- 6) Alpha банка
- 7) ЕФГ Eurobank
- 8) Pro Credit банка
- 9) Societe Generale банка
- 10) Нуро-Алпе-Адриа банка
- 11) Unicredit банка
- 12) Volksbank

Одговарајући АХП модел за рангирање 12 највећих банака у Србији, у 2009. години, приказан је на Слици 1.



Слика 1: АХП модел рангирања банака

Резултати примене ДЕАХП модела

У складу са сугестијама Раманатхан-а, процене коришћене у АХП моделу, за поређење алтернатива – банака по паровима, коришћене су као инпути у одговарајућим ДЕА матрицама. Банке су међусобно поређене у односу на сваки идентификовани подкритеријум из одговарајуће подкритеријумске групе, како би се добили одговарајући инпути за ДЕАХП матрицу ефикасности у односу на посматрани критеријум, као и у односу на критеријум *солвентност*. Добијени резултати, тј. ДЕАХП релативне ефикасности у односу на појединачне критеријуме, приказани су Табели 1, и коришћени су даље као инпути у ДЕАХП матрици поређења за добијање коначних релативних ефикасности посматраних банака (Табела 2). Коначни резултати су показали да су *Raiffeisen* банка, Комерцијална банка, *ЕФГ* банка, *Societe General* банка и *Нуро Алпе – Адриа* банка, са аспекта интегрисане употребе АХП и ДЕА метода, биле релативно ефикасне у 2009. години, односно да су ефикасно користили сопствене ресурсе.

Табела 1: ДЕАХП приоритети банака у односу на идентификоване критеријуме

ДМУ	Профитабилност O_1	Ефикасност O_2	Финансијска структура O_3	Ликвидност O_4	Солвентност O_5	Тржишна позиција O_6
1. Банка Intesa	1	0.51087	0.18855	0.49471	0.27602	1
2. Војвођанска банка	0.33122	0.48195	0.01545	1	0.6414	0.46758
3. Raiffeisen банка	1	0.44165	0.7017	0.35518	0.35633	0.98185
4. Комерцијална банка	0.56983	0.57744	0.25965	0.69239	0.21267	1
5. АИК банка	0.22198	0.09292	1	0.3086	0.01131	0.72834
6. Alpha банка	0.51741	0.54041	0.36012	0.40471	1	0.20496
7. Eurobank ЕФГ	0.70753	0.09629	0.52087	0.58668	0.21833	1
8. ProCredit банка	1	1	0.26121	0.47075	0.28394	0.27149
9. Societe Generale банка	0.79438	0.54908	0.47826	0.63231	0.24434	0.39032
10. Нуро Алпе – Адриа банка	0.51443	0.6135	0.49775	1	0.46606	0.6483
11. UniCredit банка	1	1	0.34467	1	0.25905	0.4444
12. Volksbank	0.29479	1	0.47976	0.02786	0.34163	0.2189

Табела 2: ДЕАХП матрица поређења банака у односу на идентификоване критеријуме

ДМУ	H_1	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
1. Банка Intesa	1	1	0.51087	0.18855	0.49471	0.27602	1
2. Војвођанска банка	1	0.33122	0.48195	0.01545	1	0.6414	0.46758
3. Raiffeisen банка	1	1	0.44165	0.7017	0.35518	0.35633	0.98185
4. Комерцијална банка	1	0.56983	0.57744	0.25965	0.69239	0.21267	1
5. АИК банка	1	0.22198	0.09292	1	0.3086	0.01131	0.72834
6. Alpha банка	1	0.51741	0.54041	0.36012	0.40471	1	0.20496
7. Eurobank ЕФГ	1	0.70753	0.09629	0.52087	0.58668	0.21833	1
8. ProCredit банка	1	1	1	0.26121	0.47075	0.28394	0.27149
9. Societe Generale банка	1	0.79438	0.54908	0.47826	0.63231	0.24434	0.39032
10. Нуро Алпе – Адриа банка	1	0.51443	0.6135	0.49775	1	0.46606	0.6483
11. UniCredit банка	1	1	1	0.34467	1	0.25905	0.4444
12. Volksbank	1	0.29479	1	0.47976	0.02786	0.34163	0.2189

Табела 3: ДЕАХП релативне ефикасности банака у 2009. години

ДМУ	Ефикасност
1 Банка Intesa	0,99127
2 Војвођанска банка	0,91435
3 Raiffeisen банка	1,00000
4 Комерцијална банка	1,00000
5 АИК банка	0,91015
6 Alpha банка	0,96166
7 Eurobank ЕФГ	1,00000
8 ProCredit банка	0,94861
9 Societe Generale банка	1,00000
10 Нуро Алпе – Адриа банка	1,00000
11 UniCredit банка	0,68453
12 Volksbank	0,94531

5. ЗАКЉУЧАК

У примеру су мерене перформансе 12 највећих банака у Србији у 2009. години, применом ДЕАХП метода. Добијени резултати показују да су *Raiffeisen* банка, Комерцијална банка, *ЕФГ* банка, *Societe General* банка и *Нуро Алпе – Адриа* банка, са аспекта интегрисане употребе АХП и ДЕА метода, биле релативно ефикасне у 2009. години, односно да су ефикасно користили сопствене ресурсе. Овакав закључак је потпунији у односу на примену само ДЕА метода, и објективизиран у односу на примену само АХП метода, зато што узима у обзир различиту релативну важност кључних фактора за оцену перформанси банака, али их и користи као инпуте у одговарајућем ДЕА моделу.

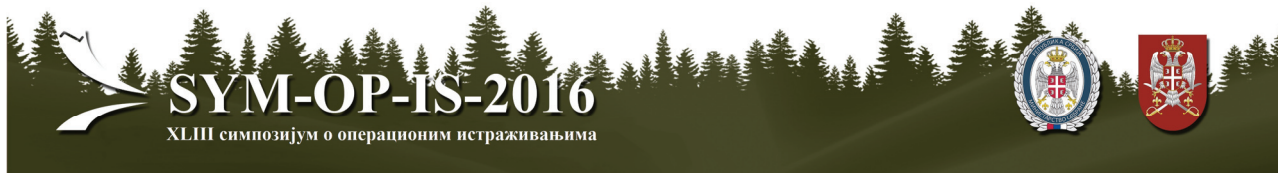
У суштинском смислу, за спроведено истраживање перформанси банака везана су одређена ограничења, а најважније се односи на временску димензију података. Емпиријско истраживање је спроведено на бази релативно малог броја годишњих података, па, самим тим, закључке анализе треба узети са дозом опреза. Резултати ове анализе могу бити окарактерисани као прелиминарна истраживања са циљем приказа медолошких аспеката будућег рада са већом базом података. Будућа истраживања биће усмерена на повећање броја података агрегацијом, односно, прикупљањем података по периодима дужим од једне године, формирањем временских серија и идентификацијом и праћењем одговарајућих трендова.

Предложени приступ комбиновања традиционалних мера базираних на рачуно бројевима, вишекритеријумских метода и робусних непараметарских метода, обезбеђује флексибилан, систематичан и објективан оквир за свеобухватно (апсолутно и релативно), мерење ефикасности банака, и поуздану основу за доношење квалитетних инвестиционих одлука. У теоријско-методолошком смислу, остају неке дилеме везане за функционисање ДЕАХП метода у случају неконзистентних матрица процена (Раманатхан, 2006) што се, међутим, може верификовати или оспорити будућим емпиријским истраживањима. Корисно би било и извршити анализу осетљивости решења и проверити да ли и како промена релативне важности изабраних критеријума код АХП метода утиче на ранг алтернатива. Такође би било занимљиво упоредити резултате са резултатима добијеним применом других вишекритеријумских метода.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Richard, P., Devinney, T., Yip, G., Johnson, G. (2009). Measuring Organizational Performance: Towards Methodological Best Practice. *Journal of Management*, 35 (3), 718-804.
- [2] Јакшић, М., Мимовић П., Тодоровић, В. (2011). Analytic hierarchy process and bank ranking in Serbia, *Индустрија*, 39(1), 47-66.
- [3] Arshadi, N., Lawrence, E. C. (1987). An empirical investigation of new bank performance. *Journal of Banking and Finance*, 11(1), 33-48.
- [4] Meyer, D. W., Markiewicz, M. K. (1997). Developing a balanced scorecard at Wachovia corporation. *Bank Accounting and Finance*, 11(1), 13-19.
- [5] Wen, L. (2008). The Accounting and Financial Performance of Non-State-Owned Chinese Commercial Banks, *Journal of Performance Management*, 21, 32-46.
- [6] Pathak, B. (2003). A Comparison of the Financial Performance of Private Sector Banks. *Finance India*, 17, 1345-1356.
- [7] Aebi, V., Sabata, G., Schmid, M. (2012). Risk Management, Corporate Governance and Banks Performance in the Financial Crisis. *Journal of Banks and Finance*, 36(12), 3213-3226.
- [8] Hernando, I., Nieto, M. (2007). Is the Internet delivery channel changing banks' performance? The case of Spanish banks, *Journal of Banking and Finance*, 31(4), 1083-1099.
- [9] Canbas, S., Cabuk, A., Kilic, S.B. (2005). Prediction of commercial bank failure via multivariate statistical analysis of financial structures: the Turkish case. *European Journal of Operational Research* 166, 528-546.
- [10] Ho, C.T., Wu, Y.S. (2006). Benchmarking performance indicators for banks. *An International Journal* 13, 147-59.
- [11] Dinçer, H., Gencer, G., Orhan, N. & Şahinbaş, K. (2011). A Performance Evaluation of the Turkish Banking Sector After the Global Crisis via CAMELS Ratios. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 24, 1530-1545.
- [12] Wang, M. H., Huang, T. H. (2007). A Study on the Persistence of Farrell's Efficiency Measure under a Dynamic Framework. *European Journal of Operational Research*, 180, 1302-1316.
- [13] Tsolas, E. I. (2010). Modelling Bank Branch Profitability and Effectiveness by means of DEA. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59, 432-451.
- [14] McEachern, D., Paradi, J. C. (2007). Intra and Inter Country Bank Branch Assessment Using DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 27, 123-136.
- [15] Gregoriou, G. N., Lusk, E. J., Halperin, M. (2008). A Two Staged Benchmarked Decision Support System Using DEA Profiles of Efficiency. *Infor*, 46, 177-187.
- [16] Kantor, J., Maital, S. (1999). Measuring Efficiency by Product Group: Integrating DEA with Activity Based Accounting in a Large Mideast Bank. *Interfaces*, 29: 27-36.
- [17] Weiguo, X., Ming, L. (2008). Empirical Research of M&A Impact on Chinese and American Commercial Banks' Efficiency Based on DEA Method. *Management Science and Engineering*, 2, 38-47.
- [18] Kumar, S., Gulati, R. (2010). Measuring Efficiency, Effectiveness and Performance of Indian Public Sector Banks. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59, 51-74.
- [19] Paradi, J.C., Zhu, H. (2013). A survey on bank branch efficiency and performance research with data envelopment analysis, *Omega* 41, 61-79.
- [20] Ta, H. P., Kar, Y. H. (2000). A Study of Bank Selection Decisions in Singapore Using the Analytical Hierarchy Process. *The International Journal of Bank Marketing*, 18, 170-180.
- [21] Che, Z.H., Wang, H.S., Chuang, C. L. (2010). A Fuzzy AHP and DEA Approach for Marketing Bank Loan Decisions for Small and Medium Enterprises in Taiwan. *Expert Systems With Applications*, 37, 7189-7199.
- [22] Frei, F.X., Kalakota, R., Marx, L.M. (1997). Process variation as a determinant of service quality and bank performance: evidence from the retail banking study. Wharton School, Center for Financial Institutions, *Working Paper Series*, 97-36.

- [23] Yurdakul, M., Ic, Y. T. (2004). AHP approach in the credit evaluation of the manufacturing firms in Turkey. *International Journal of Production Economics* 88, 269–289.
- [24] Albayrak, E., Erensal, Y. C. (2005). A study bank selection decision in Turkey using the extended fuzzy AHP method. In 35th International conference on computers and industrial engineering, Istanbul, Turkey.
- [25] Secme, N.Y., Bayrakdaroglu, A., Kahraman, C. (2009). Fuzzy performance evaluation in Turkish banking sector using Analytic hierarchy process and TOPSIS, *Expert systems with applications*, 36, 11699-11709.
- [26] Doumpos, M., Zopounidis, C. (2009). A multicriteria decision support system for bank rating, *Decision support system*, 50(1), 55-63.
- [27] Wu, H-Y., Tzeng, G-H., Chen, Y-H. (2009). A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performance based on Balanced Scorecard, *Expert Systems with Applications* 3 , 10135–10147.
- [28] Aruldoss, M., Lakshmi, M., Venkatesan, P. (2013). A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications, *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43.



ТЕСТИРАЊЕ ФАМА-ФРЕНЧ ТРОФАКТОРСКОГ МОДЕЛА НА ТРЖИШТУ КАПИТАЛА СРБИЈЕ

TESTING FAMA-FRENCH THREE-FACTOR MODEL ON SERBIAN CAPITAL MARKET

ИРЕНА ЈАНКОВИЋ

Економски факултет Универзитета у Београду, Београд, irenaj@ekof.bg.ac.rs

Резиме: Предмет анализе у овој раду јесте трофакторски Фама-Френч модел и могућности за његову примену на мање ликвидним и недовољно развијеним тржиштима капитала. Модел је тестиран на подацима за одабране акције са Београдске берзе и за резултат има веће учешће објашњеног у укупном варијабилитету приноса хартија у поређењу са једноиндексним моделом.

Кључне речи: Фама-Френч модел, једноиндексни модел, неликвидна тржишта.

Abstract: The subject of the analysis in this paper is the Fama-French three-factor model and possibilities for its application on the less liquid and underdeveloped capital markets. The model was tested on selected stocks' data from the Belgrade Stock Exchange and as a result has higher share of the explained in total securities' returns variability in comparison to the single-index model.

Keywords: Fama-French Model, Single-Index Model, illiquid markets.

1. САРМ И ИНДЕКСНИ МОДЕЛ

Модел вредновања капиталне активе (енгл. Capital Asset Pricing Model, САРМ) има за циљ да прикаже равнотежни ниво очекиваног приноса за ризичне хартије од вредности. Поставке модела су дате у радовима [1], [2] и [3]. Модел се базира на прилично поједностављеном скупу претпоставки које су у најкраћем дате у наставку:

1. На тржишту постоји много инвеститора са малим иницијалним богатством у поређењу са укупним богатством свих на тржишту. Реч је о претпоставци о савршеној конкуренцији и немогућности појединачног инвеститора да утиче на тржишну цену хартија;
2. Сви инвеститори имају јединствен инвестициони хоризонт;
3. Сви инвеститори могу да улажу у акције и обвезнице, као и да позајмљују новац и узимају новац на зајам по неризичној стопи;
4. Инвеститори не плаћају порез и не сnose трансакционе трошкове код трговања хартијама;
5. Сви инвеститори имају аверзију према ризику;
6. Сви инвеститори имају хомогена очекивања, тј. они анализирају хартије на исти начин и долазе до истих очекиваних приноса и матрице коваријанси приноса хартија, па и јединственог оптималног ризичног портфолија.

Као последица ових претпоставки долази до следећих исхода:

1. Сви инвеститори улажу у тржишни портфолио као оптимални ризични портфолио. Тај теоријски портфолио укључује у себе све ризичне хартије на тржишту, при чему је учешће сваке једнако учешћу њене тржишне капитализације у укупној тржишној капитализацији свих хартија;
2. Резултујућа линија тржишта капитала (енгл. Capital Market Line, CML) која повезује неризичну стопу и тржишни портфолио јесте уједно и најбоља линија алокације капитала на ризичну и неризичну активу. Сви инвеститори улажу у тржишни портфолио, као оптимални ризични, и неризичну активу у односу који одговара њиховом степену аверзије према ризику;
3. Ризико премија тржишног портфолија пропорционална је његовом ризику и степену аверзије према ризику репрезентативног инвеститора.

$$E(r_M) - r_f = \bar{A} \sigma_M^2 \quad (1)$$

где је σ_M^2 варијанса приноса тржишног портфолија, а \bar{A} просечан ниво аверзије према ризику међу инвеститорима. С обзиром на то да је тржишни портфолио М савршено диверсификован, σ_M^2 представља систематски ризик за овај скуп актива.

4. Ризико премија појединачних хартија пропорционална је ризику премији тржишног портфолија М, и бета коефицијенту хартије као мери осетљивости њеног приноса на кретање тржишног приноса. Бета показује у

којој мери се приноси хартије и тржишта крећу усаглашено.

$$\beta_i = \frac{\text{COV}(r_i, r_M)}{\sigma_M^2} \quad (2)$$

Ризико премија појединачне хартије онда јесте:

$$E(r_i) - r_f = \frac{\text{COV}(r_i, r_M)}{\sigma_M^2} [E(r_M) - r_f] = \beta_i [E(r_M) - r_f] \quad (3)$$

САРМ модел приказује равнотежну релацију између очекиваног приноса и ризика.

$$E(r_i) = r_f + \beta_i [E(r_M) - r_f] \quad (4)$$

У пракси, оно што можемо сагледати са тржишта, нису очекивани већ реализовани приноси. Како бисмо покушали да тестирамо суштину модела у пракси, применићемо тзв. индексни модел који користи додатне приносе хартије и тржишта у анализи и може се приказати на следећи начин:

$$R_i(t) = \alpha_i + \beta_i R_M(t) + e_i(t) \quad (5)$$

где је R_i додатни принос хартије изнад неризичне стопе r_f и R_M додатни принос тржишта r_M .

Бета коефицијент у индексном моделу има исто значење као и у САРМ моделу. Кључна разлика је у томе што смо теоријски тржишни портфолио заменили у анализи са репрезентативним индексом о чијем кретању можемо добити податке са тржишта. Док САРМ модел предвиђа да је екстра принос, тзв. алфа, једнака 0 за акције које су у равнотежи, докле индексни модел може резултовати позитивном или негативном алфом за анализиране хартије. То значи да у стварности, оне могу бити потцењене или прецењене, односно ван равнотеже.

2. ФАМА-ФРЕНЧ ТРОФАКТОРСКИ МОДЕЛ

Алтернативни приступи дефинисању макроекономских фактора, који су релевантни извори систематског ризика, користе специфичности везане за предузећа које су емпијски потврђене као представници изложености систематском ризику. Изабрани фактори јесу променљиве које су на анализираним тржишним подацима добро предвиђале просечне приносе хартија. Један од таквих модела јесте Фама-Френч трофакторски модел чија је примена емпијски много пута тестирана [4].

Фама-Френч трофакторски модел проширује САРМ модел тако што додаје још два систематска фактора тржишном индексу. Реч је о факторима величине и вредности предузећа [5]. Овај вишефакторски модел узима у обзир чињеницу да високоприносне акције (енгл. Value Stocks) као и акције компанија релативно мале тржишне капитализације (енгл. Small Cap Stocks) редовно "побеђују" тржиште остварујући екстра принос за конкретан ниво ризика. Сматра се да овај модел боље објашњава понашање просечних приноса хартија и да је услед тога и бољи инструмент за оцену перформанси портфолио менаџера. У покушају да боље објасне понашање приноса хар-

тија од вредности, Фама и Френч увиђају да понашање тржишног приноса није довољно обухватно као објашњавајућа променљива и да постоје додатни фактори изложености изворима систематског ризика који нису ухваћени САРМ бетом и који појачавају објашњавајућу снагу модела. Емпијском провером сагледавају да високоприносне хартије превазилазе перформансе брзорастућих хартија (енгл. Growth Stocks), као и да акције компанија са релативно малом капитализацијом надмашују оне са великом капитализацијом.

Поставка модела је дата следећом спецификацијом:

$$E(r_i) - r_f = \alpha_i + b_i [E(r_M) - r_f] + s_i E[SMB] + h_i E[HML] \quad (6)$$

где је SMB принос портфолија малих акција минус принос портфолија великих акција, док је HML принос портфолија високог односа тржишне и књиговодствене вредности минус принос портфолија ниског В/М количника. Коефицијенти b_i , s_i , и h_i показују реакцијом додатног приноса хартије на сваки од три фактора.

Како би креирали портфолија која прате величину и вредност предузећа аутори рангирају предузећа према тржишној капитализацији и В/М количнику, тј. односу књиговодствене и тржишне вредности. Премија величине, SMB, се добија као разлика приноса трећине најмањих и трећине највећих предузећа. Слично, премија вредности, HML, се добија као разлика приноса предузећа са високим и ниским В/М количником. Трећи фактор је вредносно пондерисани тржишни индекс широке обухватности од чијих приноса се одузима стопа приноса на државне записе као неризична стопа.

Како би тестирали модел, рангирају предузећа у три групе по величини и три групе по вредности и праве 9 портфолија. Потом за сваки од ових портфолија применљују регресиони модел:

$$r_i - r_f = \alpha_i + b_i (r_M - r_f) + s_i SMB + h_i HML + e_{it} \quad (7)$$

Тржишни индекс у овоме моделу и даље има улогу да прикаже систематски ризик који потиче од макроекономских фактора. Додатни фактори, величине и вредности предузећа, укључени су у модел јер је емпијски потврђена њихова улога у објашњавању одступања просечног приноса хартија од нивоа очекиваног према САРМ моделу. Према ауторима, ови додатни фактори представљају проксије додатних фундаменталних променљивих које генеришу ризик. Фама и Френч истичу да је за предузећа са високим количником В/М вероватније да ће запасти у финансијске потешкоће, као и да су акције малих предузећа осетљивије на промене у пословним условима. Тако, посредно, фактори величине и вредности предузећа могу одражавати осетљивост на факторе ризика на макронивоу.

3. ТЕСТИРАЊЕ ФАМА-ФРЕНЧ ТРОФАКТОРСКОГ МОДЕЛА НА ПРИМЕРУ АКЦИЈА СА БЕОГРАДСКЕ БЕРЗЕ

За потребе ове анализе посматране су ликвидне хартије са Београдске берзе са Приме листинга (Аеродром Никола Тесла а.д. – АЕРО, Енергопројект холдинг а.д. – ЕННЛ, НИС а.д. – НИИС, Сојапротеин а.д. – СЈРТ) и АИК банка а.д. - АИКВ. Посматране су акције предузећа из различитих сектора привреде. Све акције су део корпе ВЕЛЕХ15 индекса. Посматрани су дневни подаци о кретању цена акција у периоду од 7.02.2011-7.12.2015. године. Свака серија обухвата 1220 опсервација. Као репрезент тржишног приноса посматран је ВЕЛЕХ15 индекс, док је као неризична стопа узета стопа приноса на тромесечне државне записе Републике Србије деноминване у динарима. На логаритамским приносима акција оцењени су презентовани једноиндексни модел (5) и трофакторски модел (7).

Табела 1: Оцењивање једноиндексног модела на одабраним акцијама са Београдске берзе

	AERO	AIKB	ENHL	NIIS	SJPT
Одсечак α	0,0005 (1,1100)	-0,0001 (-0,2354)	0,0001 (0,1787)	0,0003 (0,9268)	-0,0001 (-0,0942)
Бета коефицијент β	0,7580 (14,7034)	1,5616 (26,7905)	1,0159 (16,0465)	0,9888 (24,3197)	0,9909 (13,7457)
Прилаг. R^2	0,1500	0,3703	0,1738	0,3263	0,1336
Број опсерв.	1220	1220	1220	1220	1220

Извор: Оцена аутора (t статистике су у заграда)

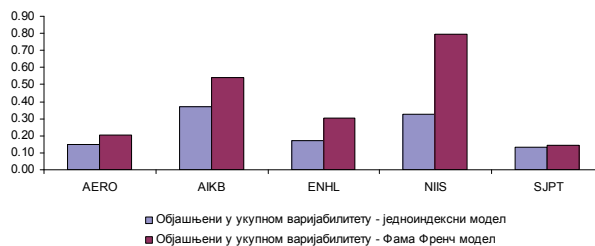
Табела 2: Оцењивање Фама-Френч модела на одабраним акцијама са Београдске берзе

	AERO	AIKB	ENHL	NIIS	SJPT
Одсечак α	0,0004 (0,8608)	0,0003 (0,6858)	0,0001 (0,2290)	-0,0001 (-0,7619)	-0,0001 (-0,1309)
Бета коефицијент β	0,9087 (17,2077)	1,2948 (24,6327)	1,2863 (20,9229)	1,0348 (43,6567)	1,0963 (14,4805)
Коефицијент уз фактор величине, s_i	0,8861 (7,8333)	-1,2728 (-11,304)	1,9487 (14,7981)	-0,3869 (-7,6199)	0,7156 (4,4129)
Коефицијент уз фактор вредности, h_i	-0,8414 (-8,9397)	1,9228 (20,5242)	-0,9859 (-8,9979)	-1,2190 (-28,855)	-0,4486 (-3,3243)
Прилаг. R^2	0,2029	0,5422	0,3037	0,7953	0,1458
Број опсерв.	1220	1220	1220	1220	1220

Извор: Оцена аутора (t статистике су у заграда)

Резултати извршене анализе показују високу статистичку значајност свих оцењених коефицијената – кретања тржишта, величине и вредности предузећа.

При томе, трофакторски модел у већој мери објашњава варијабилност додатних приноса посматраних хартија у поређењу са једноиндексним моделом.



Слика 1: Учешће објашњеног у укупном варијабилитету код оцењеног једноиндексног и Фама-Френч модела

Висина бета коефицијента указује на проциклично понашање свих посматраних акција осим акције Аеродрома. Код акција предузећа постоји позитивна веза између величине мерене разликом приноса малих и великих компанија и додатног приноса хартија и негативна веза између разлике високог и ниског количника књиговодствене и тржишне вредности и додатног приноса. Код акције АИК банке постоји негативна веза између величине и додатног приноса хартије и позитивна веза између вредности и додатног приноса. Код предузећа NIIS, које има доминантан положај на тржишту, постоји негативна веза како између индикатора величине компаније и додатног приноса тако и између фактора вредности и додатног приноса.

5. ЗАКЉУЧАК

Презентовани рад имао је за циљ тестирање трофакторског Фама-Френч модела на српском тржишту капитала. Резултат оцењеног модела јесте јача објашњавајућа снага понашања додатних приноса посматраних акција у поређењу са једноиндексним моделом. Тиме трофакторски модел, и на мање развијеном тржишту, демистификује у већој мери реакцибилност приноса акција на систематске факторе посредством укључених додатних индикатора, величине и вредности предузећа, у анализу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sharpe, W., "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium", *Journal of Finance*, 19(3) (1964) 425-442.
- [2] Lintner, J., "The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets", *Review of Economics and Statistics*, 47(1) (1965) 13-37.
- [3] Mossin, J., "Equilibrium in a Capital Asset Market", *Econometrica*, 34(4) (1966) 768-783.
- [4] Fama, E. F., French, K. R., "Multifactor Explanations of Asset Pricing Anomalies", *Journal of Finance*, 51(1) (1996) 55-84.
- [5] Fama E. F., French, K. R., "Common Risk Factors in the Returns on Stocks and Bonds", *Journal of Financial Economics* 33 (1993) 3-56.



ЗНАЧАЈ СОПСТВЕНЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ПРИ УТВРЂИВАЊУ СОЛВЕНТНОСТИ ОСИГУРАВАЈУЋИХ КОМПАНИЈА

IMPORTANCE OF OWN RISK ASSESSMENT IN DETERMINING SOLVENCY OF INSURANCE COMPANIES

ЈЕЛЕНА КОЧОВИЋ

Економски факултет Универзитета у Београду, kocovic@ekof.bg.ac.rs

БЛАГОЈЕ ПАУНОВИЋ

Економски факултет Универзитета у Београду, paunovic@ekof.bg.ac.rs

МАРИЈА ЈОВОВИЋ

Економски факултет Универзитета у Београду, marijajovovic@ekof.bg.ac.rs

Резиме: Пратећи актуелне тенденције у земљама чланицама ЕУ, на тржиште осигурања Србије се постепено уводе елементи концепта Солвентност II, у виду захтева за спровођењем сопствене процене ризика и солвентности осигураваача (ORSA). Рад има за циљ да укаже на значај ORSA процеса за адекватно управљање ризицима који угрожавају осигуравајуће компаније. Смернице за практичну имплементацију овог процеса произилазе из COSO оквира за управљање ризицима, који је образложен у раду.

Кључне речи: ORSA, управљање ризицима, Солвентност II, COSO методологија.

Abstract: Elements of the Solvency II concept in the form of requirement for the enforcement of insurers' Own risk and solvency assessment (ORSA) are gradually introduced to the Serbian insurance market following the current trends in the EU Member States. The paper aims to highlight the importance of ORSA process for adequate management of risks that threaten insurance companies. Guidelines for the practical implementation of this process stem from the COSO risk management framework, which is explained in the paper.

Keywords: ORSA, risk management, Solvency II, COSO methodology.

1. УВОД

Почев од 1. јануара 2016. године, у земљама чланицама Европске уније (ЕУ) примењује се на ризицима засновани регулаторни оквир пословања осигуравајућих компанија, у виду концепта Солвентност II. Њиме се уводи нови приступ утврђивању солвентности осигураваача, чији циљ није *a priori* повећање укупног нивоа капитала у сектору осигурања, већ успостављање високих стандарда управљања ризицима, у функцији квалитетније заштите интереса осигураника. Концепт Солвентност II је базиран на три стуба, од којих је први посвећен квантитативним захтевима за капиталом и техничким резервама, други стуб се односи на квалитативне захтеве у погледу управљања ризицима и интеракције са надзорним органом, док трећи стуб обједињује захтеве за обелодањивањем информација осигураваача. Важан елемент другог стуба је сопствена процена ризика и солвентности (енгл. *Own Risk and Solvency Assessment* - ORSA) у оквиру које осигураваачи, уважавајући сопствени ризични профил, степен толеранције ризика и пословну стратегију, на регуларној основи сагледавају стварне потребе за капиталом, проверавају њихову усклађеност са израчунатим ка-

питалним захтевима и о томе обавештавају орган надзора.

Закон о осигурању из 2014. године предвиђа имплементацију Солвентности II у Србији након приступања ЕУ. Као полазни корак у процесу транзиције од постојећег концепта Солвентност I, одговарајућом подзаконском регулативом [1] прописана је обавеза вршења сопствене процене ризика и солвентности за осигуравааче који послују на српском тржишту од краја 2015. године. Увођење елемената другог стуба може допринети побољшању процеса управљања ризицима у сектору осигурања, али се отвара питање његове практичне реализације, будући да је домаћи регулатор заобишао први стуб концепта Солвентност II.

Предмет рада су могућности за сопствену процену ризика и солвентности осигураваача у специфичним локалним условима непостојања обавезе претходне квантификације ризика. Рад има за циљ да укаже на значај ORSA процеса за адекватно управљање ризицима који угрожавају пословање осигуравајућих компанија. Успостављањем паралеле са COSO методологијом управљања ризицима, у раду се идентификује

оквир који може бити коришћен за спровођење ORSA процеса у Србији.

2. COSO ОКВИР ЗА УПРАВЉАЊЕ РИЗИЦИМА

Управљање ризиком у савременом смислу је општа, интегративна функција у непосредној одговорности управљачког врха организације [2]. Према широко прихваћеној COSO методологији, управљање ризиком је процес који се одвија у оквиру ентитета, под утицајем људи на свим нивоима организационе структуре, применљив у стратешком смислу и кроз целу организацију, дизајниран тако да омогући идентификовање догађаја који, ако се догоде, утичу на ентитет, и који обезбеђује разумну сигурност менаџменту у остваривању циљева [3]. У оквиру овог процеса издваја се осам међусобно повезаних компоненти или фаза.

Прва фаза подразумева стварање интерног окружења погодног за управљање ризицима, што укључује став организације према ризицима и начин на који се он преноси на запослене, систем вредности организације, став према окружењу и сл. Посебно значајне активности у оквиру ове фазе су одређивање апетита за ризик и толеранције према ризику. Апетит за ризик је висина ризика који је организација спремна да прихвати ради остварења одређених циљева и стварања вредности. Толеранција према ризику је ниво одступања од постизања задатих циљева који организација може да прихвати, а да буде усклађена са претходно дефинисаном склоношћу ка ризику.

Неопходно је да постоји склад између апетита за ризик и циљева организације. Организација која је склонија ризику ће постављати агресивне циљеве, док ће организација са аверзијом према ризику тежити конзервативнијим циљевима. Стога је апетит за ризик од стратегијског значаја за организацију и једна од основних детерминанти алокације ресурса и става организације према ризику. Процес одређивања апетита за ризик обухвата три фазе: развој апетита за ризик, комуницирање и надгледање и ажурирање апетита за ризик. Не постоји „прави“ нити стандардни апетит за ризик који одговара свакој организацији. Менаџмент мора да одреди апетит за ризик, на бази повезаних циљева и стратегија, и да га пренесе запосленима на свим нивоима организационе структуре. При томе треба узети у обзир капацитет организације да преузме додатни ризик, ризико профил, толеранцију на ризик, интересе различитих стејкхолдера, као и врсту и висину ризика којим организација управља. Надгледање апетита за ризик је неопходно, будући да је нереално очекивати да ће запослени увек управљати ризиком у складу са дефинисаним апетитом за ризик. Поред тога, једном одређени апетит за ризик мора да се ажурира у зависности од тога како функционише предузеће, посебно уколико се мења његов пословни модел.

Толеранција према ризику суштински представља примену апетита за ризик на специфичне циљеве. Она

поставља границе прихватљивих варијација перформанси организације. Приликом одређивања толеранције према ризику, менаџмент полази од релативног значаја циљева и усклађује толеранцију према ризику са апетитом за ризик. За разлику од апетита за ризик, који је широко дефинисан, толеранција према ризику је, по својој природи, тактичка и оперативна. За потребе оперативног пословања, апетит за ризик се каскадно, низ организациону структуру, трансферише у различите толеранције према ризику.

У другој фази процеса управљања ризиком се постављају циљеви организације, у складу са њеном мисијом и апетитом према ризику. Трећа фаза се односи на идентификацију интерних и екстерних догађаја који утичу на остваривање циљева. Она подразумева праћење постојећих и откривање нових ризика и промена у ризичном профилу предузећа.

Четврта фаза је процена ризика. Циљ ове фазе је да се утврди висина ризика, како би се пажња менаџмента фокусира на најзначајније ризике и створила основа за одговор на ризике. Процена ризика је сложена активност која подразумева: дефинисање критеријума процене ризика, саму процену (мерење) ризика, процену интеракције ризика и одређивање приоритета ризика [4]. Критеријуми за процену ризика најчешће су вероватноћа настанка и утицај догађаја на организацију. Поред тога, да бисмо могли утврдити колико брзо долази до ризика, колико брзо предузеће може да одговори на ризике или да се опорави од њиховог дејства и колики губитак се може толерисати, неопходно је утврдити осетљивост и брзину којом ризик настаје. Процена ризика подразумева додељивање извесне вредности свакој врсти ризика у складу са дефинисаним критеријумом. Обично се процена ризика остварује кроз две фазе. У првој фази врши се иницијално скенирање ризика коришћењем квалитативних техника (дескриптивних скала), а у другој фази се врши квантитативна анализа најзначајнијих ризика (кроз оцењивање нумеричке вредности утицаја и вероватноће). Квалитет анализе зависи од тачности и расположивости података и ваљаности модела који се користи за описивање понашања ризичних варијабли.

Како се ризици не остварују изоловано, организације треба да процењују међусобне интеракције ризика, у циљу успешног управљања њима. У оквиру холистичких приступа, организације користе технике као што су корелационе матрице ризика и агрегатне расподеле вероватноћа ризичних варијабли. Последња активност у оквиру процене ризика је одређивање приоритета поређењем нивоа идентификованих ризика са унапред одређеним циљним нивоом ризика и толеранцијом према ризику.

У петој фази имплементације COSO оквира, организација одговара на ризике примењујући неку од техника контроле или финансирања ризика, у складу са апетитом за ризик, толеранцијом према ризику, као и карактеристикама ризика. Шеста фаза подразумева дефини-

сање политика и успостављање процедура које треба да омогуће контролу процеса управљања ризиком и обезбеде ефективност одговора на ризике. Циљ седме фазе (информисање и комуницирање) је идентификовање релевантних информација, њихово прикупљање, обрада и преношење у форми и роковима који омогућују запосленима да обављају своје послове сходно апетиту за ризик и толеранцији према ризику. Коначно, осма фаза се односи на мониторинг процеса управљања ризиком и, по потреби, његово модификовање када се мењају ризици, односно ризични профил организације.

3. СТАНДАРДНА ФОРМУЛА ЗА ОБРАЧУН КАПИТАЛНИХ ЗАХТЕВА ОСИГУРАВАЧА У КОНЦЕПТУ СОЛВЕНТНОСТ II

У концепту Солвентност II разликују се два нивоа капиталних захтева. Минимални капитални захтев (енгл. *Minimum Capital Requirement* - MCR) је ниво капитала при коме свака додатна пословна операција осигураваача излаже осигуранике непрехватљиво високом нивоу ризика и повлачи ултимативну интервенцију органа надзора. Солвентносни капитални захтев (енгл. *Solvency Capital Requirement* - SCR) представља додатни капитал, изнад најбоље процене техничких резерви, који је потребан за апсорпцију непредвиђених губитака осигураваача. Наменен је покрићу више модула ризика, укључујући: тржишне, кредитне, ризике животних, неживотних и здравствених осигурања, ризике нематеријалних улагања и оперативне ризике, који су даље разврстани на подмодуле.

Обрачун SCR може бити заснован на стандардној формули или интерном моделу осигураваача. Концепт Солвентност II заступа холистички приступ у коме се сви ризици мере на конзистентан начин у циљу обезбеђења солвентности осигуравајуће компаније [5]. Према стандардној формули, SCR одговара максималном могућем губитку нето имовине осигураваача при нивоу статистичке поузданости од 99,5%, за временски период од једне године. Израчунати капитални захтеви по појединим модулима (и подмодулима) ризика се агрегирају помоћу тзв. формуле квадратног корена, уз унапред дефинисану корелациону матрицу. Базични солвентносни капитални захтев (BSCR) на нивоу осигуравајуће компаније као целине се одређује применом обрасца:

$$BSCR = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} \cdot SCR_i \cdot SCR_j} + SCR_{intangible} \quad (1)$$

где су:

$\rho_{i,j}$ - унапред дефинисани коефицијенти корелације између категорија ризика,

SCR_i - израчунати SCR за i -ту категорију ризика (укључујући тржишне, ризике осигурања и кредитне ризике),

$SCR_{intangibles}$ - израчунати SCR на име ризика нематеријалних улагања.

Због уважавања ефеката диверзификације ризика, укупан капитални захтев је мањи од простог збира индивидуалних капиталних захтева. Изузетак представљају оперативни и ризици нематеријалних улагања, за које се претпоставља да су перфектно позитивно корелисани са осталим категоријама ризика.

4. ЗНАЧАЈ СОПСТВЕНЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА И СОЛВЕНТНОСТИ ОСИГУРАВАЧА

ORSA је континуелни процес оцењивања ризика и солвентности унутар ког топ менаџмент формулише сопствено виђење како тренутне, тако и будуће адекватности капитала осигуравајуће компаније, под различитим сценаријима, и у складу са апетитом за ризик и његовом толеранцијом [6]. Потреба за сопственом проценом ризика и солвентности осигураваача произилази из чињенице да поједини ризици нису обухваћени првим стубом, док се ризици који су обухваћени квантификују у периоду од само једне године. Такође, ризичне карактеристике конкретног осигураваача могу бити битно различите од претпоставки на којима се заснива стандардна формула, као што и његов апетит за ризик може одступати од нивоа поверења 99,5%. Стога, ORSA употпуњује оцену адекватности капитала осигураваача у поређењу са квантитативним захтевима из првог стуба кроз две димензије: ризик – захтевајући од осигураваача да уваже додатне ризике којима је изложено њихово пословање, и време – увдећи динамички приступ оцене ризика у вишегодишњем временском хоризонту [7]. Директивом Солвентност II су дефинисани само кључни принципи ORSA процеса, док је његова имплементација препуштена осигураваачима, сходно врсти, нивоу и комплексности ризика којима је изложено њихово пословање. ORSA треба да буде интегрисана у пословну стратегију осигураваача, а њени резултати предмет периодичног извештавања органа надзора [8].

ORSA процес је управо базиран на интегрисаном управљању ризицима (енгл. *Enterprise Risk Management* - ERM), из чега произилази његова повезаност са COSO оквиром. Као опште прихваћени стандард за управљање ризицима, COSO методологија може бити коришћена и приликом спровођења сопствене процене ризика и солвентности осигураваача. У структури ORSA процеса могуће је издвојити три корака: процену ризичног профила осигураваача, проспективну оцену његове солвентности и валидацију процеса и његово преиспитивање од стране менаџмента [7]. Ризични профил је одраз свих материјалних ризика и њиховог могућег утицаја на солвентност осигуравајуће компаније. Његова оцена је детерминисана врстом осигурања којом се компанија бави, њеном правном формом, организационом структуром и тржишном позицијом; природом и комплексношћу ризика који је угрожавају, изабраном мером ризика, апетитом за ризик и временским хоризонтом. Веома је важно да се у овом кораку идентификују и анализирају сва могућа одступа-

ња између ризичног профила осигуравача и претпоставки на којима се базира стандардна формула.

Проспективна оцена солвентности подразумева пројекцију нето имовине осигуравача за наредних 3 до 5 година [9]. Њено полазиште је биланс стања, који је сачињен према принципу фер вредновања и базни сценарио, који је конзистентан са пословним планом компаније. Утицај могућих неповољних промена у вредностима различитих параметара и екстерних варијабли на солвентносну позицију осигуравача се тестира кроз стрес тестове и сценарио анализу. При томе је потребно уважити ефекте реосигурања и других метода управљања ризицима. Циљ пројекције је сагледавање осетљивости капитала осигуравача на различите факторе ризика, што ће омогућити припремљеност менаџмента за благовремено реаговање и предупредњење несолвентности.

Последњи корак се односи на мониторинг и валидацију ORSA процеса. Акцент је на провери њене стварне интегрисаности у систем управљања ризицима, укључујући начин на који је апетит за ризиком транслиран у толеранције према ризику по појединим линијама пословања и унутар инвестиционог портфела, усклађеност алокације капитала са дефинисаним толеранцијама и третман нових ризика који настају. Коначно, све активности и њихови резултати морају бити документовани у ORSA извештају, како за интерне, тако и за сврхе извештавања органа надзора.

Ефективна ORSA обогаћује информациону основу стратешког одлучивања, доприноси развоју свести о ризицима и разумевању ризичног профила унутар компаније и подиже њен кредибилитет код супервизора. Међутим, као што унапређује управљање ризицима, ORSA може и да их генерише, уколико се не спроводи адекватно. У том смислу, важно је избећи ризик претераног фокусирања на сам процес, уместо на његове резултате, као и ризик непотребне комплексности, у смислу расплињавања пажње на исувише велики број ризика, чиме се успорава процес доношења критичних одлука [6].

5. ЗАКЉУЧАК

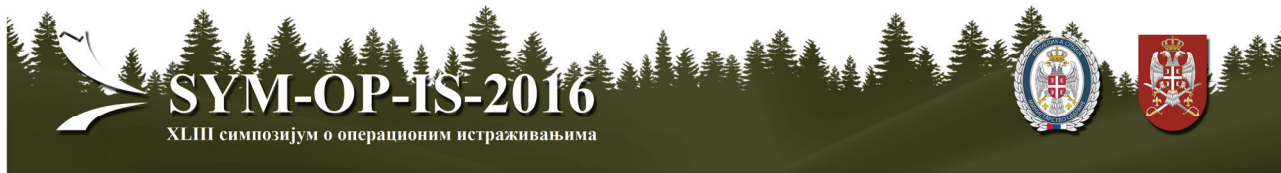
Стандардна формула за обрачун капиталних захтева намењена је просечном осигуравачу, будући да су вредности њених параметара оцењене на бази података ширих сегмената ЕУ тржишта. Отуда, она може резултовати исувише ниским или исувише високим капиталним захтевима у односу на реалне ризике појединачне осигуравајуће компаније. Уколико би ова формула била једноставно примењена на српском тржишту осигурања, без претходног прилагођавања његовим карактеристикама, непрецизност резултата би била још израженија, јер стандардне претпоставке нису формулисане на бази искуства осигуравача у Србији. Са друге стране, имајући у виду достигнути ниво развијености домаћег тржишта осигурања, није реал-

но очекивати развој и примену интерних модела за оцену солвентности осигуравача на њему у скороријој будућности. Стога, управо ORSA има важну улогу у што прецизнијој оцени ризика који угрожавају финансијско здравље осигуравача и у одмеравању адекватности капиталних захтева за њихово покриће. Проспективна оцена солвентности, кроз пројекцију капиталне позиције осигуравача у вишегодишњем временском хоризонту, представља посебан квалитет ORSA процеса.

Смернице за практичну имплементацију ORSA процеса и припрему извештаја о његовим резултатима проишле из COSO оквира за управљање ризицима, који је образложен у раду. Међутим, да би њене предности биле заиста искоришћене, веома је важно да ORSA буде схваћена као инструмент који може унапредити управљање ризицима у циљу јачања солвентности осигуравача и целокупног тржишта осигурања, а не само као додатни захтев регулатора. Тиме се обезбеђује да она заиста буде интегрисана у систем управљања ризицима осигуравајућих компанија, а да њени резултати не буду само декларативно исказани, већ транслирани у стварне акције.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] „Одлука о систему управљања у друштву за осигурање/реосигурање“, *Службени гласник РС*, бр. 51/2015.
- [2] Paunović, B. & N. Tešić, „Risk management process in banks“, *Risk management in the financial services sector*, Kočović, J., Jovanović Gavrilović, B., Trifunović, D. (eds.), Faculty of Economics, Belgrade, pp. 83-104, 2016.
- [3] Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, *Enterprise Risk Management Framework - Integrated Framework: Executive Summary*, COSO, New York, 2004.
- [4] Curtis, P. & M. Carey, *Risk assessment in practice*, COSO, Deloitte & Touche, New York, 2012.
- [5] Kočović, J., Trifunović, D. & M. Jovović, „Risk Treatment in Solvency II and Basel III concepts“, Kočović, J., Jovanović Gavrilović, B., Trifunović, D. (eds.), Faculty of Economics, Belgrade, pp. 3-20, pp. 2016.
- [6] International Actuarial Association, *Deriving Value from ORSA – Board Perspective*, IAA, Ottawa, 2015.
- [7] Willis Re, *The Own Risk and Solvency Assessment (ORSA)*, Willis Re, London, 2012.
- [8] „Directive 2009/138/EC of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the taking-up and pursuit of the business of Insurance and Reinsurance (Solvency II)“, *Official Journal of the European Communities*, 2009/138/EC.
- [9] Ozdemir, B., *ORSA: Design and Implementation*, Risk Books, London, 2015.



АНАЛИЗА ЕФИКАСНОСТИ ЈАВНЕ ПОТРОШЊЕ У ЗЕМЉАМА ИСТОЧНЕ И ЈУГОИСТОЧНЕ ЕВРОПЕ И БАЛТИЧКИХ ЗЕМАЉА ПРИМЕНОМ ДЕА МОДЕЛА

ANALYSIS OF PUBLIC SPENDING EFFICIENCY IN EASTERN AND SOUTHEASTERN EUROPE AND BALTIC STATES USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

МАРКО БАЦКОВИЋ

Економски факултет, Београд, backovic@ekof.bg.ac.rs

ЗОРАН ПОПОВИЋ

Економски факултет, Београд, zpop@ekof.bg.ac.rs

МЛАДЕН СТАМЕНКОВИЋ

Економски факултет, Београд, mladen@ekof.bg.ac.rs

ВЕЉКО БОЈОВИЋ

Економски факултет, Фискални савет Републике Србије, Београд, veljko.bojovic@fiskalnisavet.rs

Резиме: Са појавом светске економске кризе, и последично криза јавног дуга, велики број европских земаља суочио се са ограничењима у погледу вођења фискалне политике. Стога су структурне реформе, а пре свега подизање ефикасности јавног сектора и потрошње, представљале једини начин за консолидацију јавних финансија. У раду се анализира релативна ефикасност јавне потрошње земаља Источне и Југоисточне Европе и балтичких држава коришћењем ДЕА модела. Резултати показују да постоји значајан простор за подизања ефикасности јавног сектора и јавне потрошње у Србији.

Кључне речи: ДЕА, ефикасност, јавна потрошња.

Abstract: With the advent of Global Economic Crisis, and consequently public debt crisis, many European countries faced with constraints regarding the fiscal policy. Therefore, structural reforms, and above all the raise of efficiency of public sector and spending accounted for the only way to consolidate public finances. This paper analysis the relative efficiency of public spending in Eastern and Southeastern Europe and Baltic states using DEA (Data Envelopment Analysis). The results show that there is considerable scope for raising the efficiency of public sector and spending in Serbia.

Keywords: DEA, efficiency, public expenditures.

1. УВОД

Добро је познато да економска теорија придаје велики значај јавној потрошњи умајући у виду њен значај за економски раст. Наиме, расходи за образовање и здравство утичу на ниво људског капитала и продуктивност радника у једној земљи, а самим тим и на дугорочне перформансе једне привреде. Такође, издвајања за инфраструктуру и подизање њеног квалитета представља предуслов за високе и одрживе стопе привредног раста.

У последњих неколико деценија, са значајним акумулирањем јавних дугова у бројним европским земљама, питање ефикасности јавне потрошње и њеног мерења добило је на значају. Поред тога, са појавом светске економске кризе, велики број земаља се суочио са ограничењима у погледу вођења фискалне политике¹. Стога, структурне реформе, а пре свега подизање ефикасности јавног сектора и јавне потрошње представљају једини прави начин за спровођење фискалне консолидације.

¹ Такође, раст мобилности капитала и генерално, пореских обвезника значајно је ослабио пореску базу у многим земљама (Afonso *et al* [2]).

Ово питање је од посебног значаја у Србији, имајући у виду тренутно економско стање и чињеницу да услуге које пружа јавни сектор често не задовољавају потребе грађана. Због тога је важно поставити питање да ли постоји простор за подизање ефикасности јавне потрошње и јавног сектора у Србији, односно да ли је могуће остварити сличне резултата уз мању јавну потрошњу.² Поред тога, подизање ефикасности јавне потрошње довело би и до повећања наплате пореза³ што представља додатни разлог за разматрање овог питања.

У раду се анализира ефикасност јавне потрошње у земљама Источне и Југоисточне Европе и балтичких држава за период од 2006. до 2015. године, применом ДЕА модела. Избор земаља био је условљен чињеницом да примена датог модела има смисла само ако се упоређују релативно хомогене јединице, што је овде случај, с обзиром на то да су све земље у узорку биле део комунистичког блока. Са друге стране, различитост њихових транзиција и брзина улазака у Европску унију омогућава да се одговори на питање колико је то утицало на ниво ефикасности јавне потрошње и јавног сектора у тим земљама.

Остатак текста организован је на следећи начин. У другом делу дат је преглед релевантне литературе. У трећем делу објашњена је коришћена методологија, док су у четвртном делу приказани резултати анализе. Коначно, у последњем делу дат је закључак.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Велики број аутора бавио се питањем мерења ефикасности јавне потрошње и јавног сектора, како на макро⁴ тако и на микро нивоу⁵. Афонсо, Шукнет и Танци⁶ [2] анализирали су на међународном нивоу ефикасност јавног сектора, док су исти аутори [3] анализу поновили на новим чланицама Европске уније и земљама у успону. Адам, Делис и Камас [3] анализирали су земље ОЕЦД-а. Поред тога, Гупта и Верховен [6] спровели су анализу за афричке земље, Чан и Карим за земље Источне Азије [5], а Херера и Панг [7] за земљу развоју⁷, док је Ћогић [9] анализирала земље Југоисточне Европе.⁸ Наша анализа се разликује од претходно наведене у томе што је обухваћен шири узорак земаља, односно у анализу су укључене земље на које би Србија, а и друге земље у окружењу, потенцијално могла да се угледа.

² И обратно, да ли је могуће остварити боље резултате уз задржавање јавне потрошње на истом нивоу.

³ Услед раста задовољства грађана квалитетом јавних услуга.

⁴ Ефикасност целокупне јавне потрошње.

⁵ Ефикасност појединачних расхода (нпр. за здравство, образовање, инфраструктуру и др.)

⁶ У овом раду биће коришћена процедура коју су они развили.

⁷ Поред тога, постоји значајан број анализа ефикасности локалних самоуправа.

⁸ Анализа је обухватала само земље бивше Југославије, не укључујући Словенију.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

Од Фареловог капиталног дела из 1957. године развијен је велики број модела за мерење и анализу ефикасности⁹. Заједничка особина свих модела је генерисање ефикасне границе (*efficient frontier*) са којом се онда упоређују посматране јединице анализе¹⁰. У овом раду коришћен је ДЕА модел са варијабилним приносима на обим који су развили Банкер, Карне и Купер [4]. ДЕА је непараметарски метод који се заснива на линеарном програмирању. Користи се за мерење како техничке инпут ефикасности, тако и за налажење техничке аутпут ефикасности. У једначини (1) приказан је модел линеарног програмирања за налажење коефицијента техничке инпут ефикасности за једну од посматраних јединица у узорку¹¹:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0} \\ & i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} \\ & r = 1, 2, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \\ & j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

где је j број јединица у узорку, λ_j су непознати пондери, а x и y су инпути и аутпути које користе посматране јединице. Оптимална вредност θ^* представља меруступања од ефикасне границе. Уколико је $\theta^* = 1$, кажемо да је посматрана јединица ефикасна, односно да се налази на ефикасној граници. Са друге стране, уколико је $\theta^* < 1$, посматрана јединица се налази испод ефикасне границе, односно постоји простор за повећање ефикасности.

Као инпут у анализи ефикасности јавне потрошње узет је њен просечан ниво за посматрани период. Као аутпут је узет индикатор перформанси јавног сектора који је добијен као просечан пондерисани просек вредности индикатора за следеће области^{12 13}

1. Здравство (смртност одојчади и очекивани животни век)
2. образовање (квалитет и квантитет образовања)
3. Инфраструктура

⁹ Општа подела је на параметарске и непараметарске моделе.

¹⁰ За одличан преглед модела видети Мурило-Заморано [8]

¹¹ Сличан модел се може поставити и за случај када се тражи коефицијент техничке аутпут ефикасности.

¹² У загради су дати индикатори који су посматрани за сваку област.

¹³ Извори података су: Извештај о глобалној конкурентности (за области од 1-4.), ММФ (за индикаторе 5 и 6) и Светска банка (за последњи индикатор)

4. Администрација (заштита својинских права, ниво корупције, ниво безбедности)
5. Економске перформансе (просечна стопа раста и просечна стопа незапослености за посматрани период)
6. Економска стабилност (варијанса стопе раста БДП-а и просечна стопа инфлације)
7. Расподела дохотка (Ѓини коефицијент)

4. РЕЗУЛТАТИ

У табели 1. дати су резултати за сваки посматрани индикатор, односно област. Резултати показују да је Србија скоро на нивоу просека када је реч о образовању и здравству, али да заостаје у погледу квалитета инфраструктуре и администрације. Поред тога, услед високих стопа инфлације и незапослености као и ниских стопа привредног раста у првом делу посматраног периода, Србија се налази значајно испод просека кад је реч о економским перформансама и економској стабилности. Са друге стране, индикатор расподеле показује да је у Србији равномернија расподела дохотка у односу на просек посматраних земаља. Укупно посматрано, Србија се налази испод просека у посматраном узорку земаља.

Приликом анализе ефикасности потребно је узети у обзир и величину инпута који се користи за добијање аутпута. У табели 2. приказани су просечни нивои јавне потрошње за посматрани период.

Табела 1: Вредности индикатора по областима и укупне перформансе јавног сектора у посматраним земљама ¹⁴

Земља	Здравство	Образовање	Инфраструктура	Администрација	Економске перформансе	Економска стабилност	Расподела	Укупно
Албанија	1,0059	0,9846	0,9286	0,9390	1,1086	1,8735	1,0524	1,1275
Босна и Херцеговина	1,0018	0,8678	0,7381	0,8256	0,6788	1,4514	0,9396	0,9290
Бугарска	0,9878	0,9829	0,8810	0,8522	1,0836	0,8023	0,9162	0,9294
Хрватска	1,0081	0,9541	1,0952	0,9355	0,4761	0,9468	0,9839	0,9142
Чешка	1,0164	1,0466	1,1667	1,0614	1,3369	1,0507	1,1788	1,1225
Естонија	1,0040	1,1387	1,1905	1,3821	1,0225	0,3986	0,9591	1,0136
БРЈ Македонија	0,9946	0,9621	0,9286	1,1176	0,8113	0,9664	1,0715	0,9789
Мађарска	0,9955	0,9339	1,1190	0,9110	0,8546	0,3662	0,8725	0,8647
Летонија	0,9859	1,0599	1,1429	1,1017	1,0656	0,4481	0,8872	0,9559
Литванија	0,9889	1,0997	1,1667	1,0694	0,8179	1,6845	0,7162	1,0776
Црна Гора	0,9924	1,0145	0,8333	1,0322	1,0944	0,6370	1,0134	0,9453
Пољска	1,0057	1,0330	0,9762	1,0975	1,3848	2,3186	0,9331	1,2498
Румунија	0,9876	0,9087	0,8571	0,9499	1,4354	0,5334	1,0011	0,9533
Србија	0,9939	0,9134	0,7381	0,8369	0,6011	0,8113	1,0654	0,8514
Словачка	1,0017	0,9601	1,0714	0,8355	1,1843	0,8407	1,1521	1,0066
Словенија	1,0299	1,1398	1,1667	1,0523	1,0441	0,8706	1,2576	1,0801

Табела 2: Просечан ниво јавне потрошње у посматраним земљама

Земља	Јавна потрошња (% БДП-а)
Албанија	30,16
Босна и Херцеговина	43,82
Бугарска	35,08
Хрватска	46,79
Чешка	41,99
Естонија	38,21
БРЈ Македонија	29,21
Мађарска	49,91
Летонија	37,48
Литванија	36,99
Црна Гора	46,31
Пољска	43,64
Румунија	35,33
Србија	43,91
Словачка	40,23
Словенија	45,11
Просек	40,26

Узимајући у обзир величину и инпута и аутпута, и примењујући ДЕА модел са варијабилним приносима на обим, добијени су следећи резултати (Табела 3.) Као што је и очекивано¹⁵, коефицијент ефикасност јавне потрошње у Србији је значајно испод један.¹⁶ Другим речима, постоји значајан простор за подизање

нивоа ефикасности јавне потрошње у Србији.¹⁷

¹⁴ Вредности индикатора су нормиране тако да је просечна вредност једнака јединици. Код индикатора чији раста негативно доприноси резултату (нпр. стопа инфлације), узета је инверзна вредност.

¹⁵ Имајући у виду изнад просечан ниво јавне потрошње а испод просечан ниво перформанси јавног сектора.

¹⁶ Резултат се не мења без обзира да ли се посматра техничка инпут или аутпут ефикасност.

¹⁷ Резултати показују да би Србија требала да се угледа на Пољску уколико жели да побољша резултате, а на

Табела 3: Коефицијенти техничке ефикасности у посматраним земљама

Тип ефикасности		Техничка инпут ефикасност		Техничка аутпут ефикасност	
Бр.	Земља	Скор	Ранг	Скор	Ранг
1	Албанија	1	1	1	1
2	Босна и Херцеговина	0,6666	11	0,7433	13
3	Бугарска	0,8326	4	0,7929	11
4	Хрватска	0,6243	15	0,7315	14
5	Чешка	0,7175	10	0,909	4
6	Естонија	0,7703	8	0,8443	7
7	БРЈ Македонија	1	1	1	1
8	Мађарска	0,5853	16	0,6918	15
9	Летонија	0,7794	7	0,8006	10
10	Литванија	0,8068	6	0,906	5
11	Црна Гора	0,6307	14	0,7563	12
12	Пољска	1	1	1	1
13	Румунија	0,8267	5	0,8117	9
14	Србија	0,6653	12	0,6812	16
15	Словачка	0,7304	9	0,8258	8
16	Словенија	0,6619	13	0,8642	6

Поред тога, даља анализа указује на то да постоји значајна разлика у погледу нивоа ефикасности између земаља са малим, средњим и високим јавним сектором. Приметно је постојање опадајућих приноса, односно са растом јавног сектора долази до пада ефикасности, што је приказано у следећој табели.

Табела 4: Просечни коефицијенти ефикасности у зависности од величине јавног сектора¹⁸

	Просечан коефицијент техничке инпут ефикасност	Просечан коефицијент техничке аутпут ефикасност
Мали јавни сектор	0,8594	0,8794
Средњи јавни сектор	0,7403	0,8373
Велики јавни сектор	0,6256	0,7610

Са друге стране, не постоји изражена разлика између земаља ако су подељене према региону којем припадају. Другим речима, у просеку су земље Источне и Југоисточне Европе и балтичке земље исто ефикасне.¹⁹ Ипак, сваки регион представља хетерогену групу земаља.

Табела 5: Просечни коефицијенти ефикасности у зависности од региона

	Просечан коефицијент техничке инпут ефикасност	Просечан коефицијент техничке аутпут ефикасност
Земље Источне Европе	0,7821	0,8385
Земље Југоисточне Европе	0,7498	0,8252
Земље Балтичког региона	0,7855	0,8503

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Adam, A., Delis, M.D., Kammas, P. (2008). *Public Sector Efficiency: Leveling the Playing Field between OECD Countries*. (MPRA Paper No. 16493), 2008, 1-27.
- [2] Afonso, A., Schuknecht, L. Tanzi, V. (2005). *Public Sector Efficiency: An International Comparison*. *Public Choice*, 123 (3-4), pp. 321-347
- [3] Afonso, A., Schuknecht, L. Tanzi, V. (2006). *Public Sector Efficiency Evidence for New EU Member States and Emerging Markets*. (European Central Bank Working Paper No. 581). Frankfurt: European Central Bank
- [4] Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984). *Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*. *Management Science*, 30, pp. 1078-1092.

Македонију уколико жели да оствари исте резултате са мањим нивоом јавне потрошње.

¹⁸ Држава има мали јавни сектор ако јој је јавна потрошња мања од 40%, велики ако је изнад 45%, а умерен ако је између 40 и 45%.

¹⁹ Резултати су приказани у Табели 5.

- [5] Chan S.G., Karim M.Z.A.(2012). *Public spending efficiency and political and economic factors: evidence from selected East-Asian countries*, Economic Annals, 193, pp. 7-23
- [6] Gupta, S.,Verhoeven, M. (2001). *The Efficiency of Government Expenditure: Experiences from Africa*. Journal of Policy Modelling, 23,pp. 433-467
- [7] Herera S., Pang G. (2005). *Efficiency of Public Spending in Developing Countries: An Efficiency Frontier Approach*, World Bank Working Paper
- [8] Murillo-Zamorano, L. (2004). *Economic efficiency and frontier techniques*. Journal of Economic Surveys, 18(1), pp. 33-77
- [9] Ђорђић, А. (2014) *Analysis of public sector efficiency in South-Eastern Europe*, master thesis, (dostupno na <http://www.cek.ef.uni-lj.si/magister/dzovic1319-B.pdf>)
- [10] Извештај о глобалној конкурентности (подаци су доступни на <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2015-2016/competitiveness-rankings/>)
- [11] <http://www.imf.org/en/Data>
- [12] <http://data.worldbank.org/>



КОНТАНГО НА ТРЖИШТУ СИРОВЕ НАФТЕ

CONTANGO IN CRUDE OIL MARKET

МИЛОШ БОЖОВИЋ

Економски факултет, Универзитет у Београду, milosbozovic@ekof.bg.ac.rs

Резиме: Током претходне две године, цене терминских уговора за испоруку сирове нафте биле су изнад одговарајућих спот цена. Овакве околности, у жаргону познате и као „контанго“, уобичајене су за претежно инвестициона добра, и стога су у супротности са економском интуицијом и историјским понашањем цена енергената. У раду је изложен метод који се ослања на модел трошкова преноса, на основу кога можемо описати уочена одступања. Метод је илустрован на примеру терминских уговора за Брент стандард сирове нафте у периоду од 1. априла 2014. до 1. јула 2016 године. Искористиви принос, који мери премију остварену поседовањем робе у физичкој форми у односу на одговарајући термински уговор, имао је изражено негативне вредности током значајног дела периода посматрања. Овакве вредности омогућавају да се опише инверзија на тржишту нафте чак и у условима када су каматне стопе блиске нули. Понуђена су нека могућа објашњења ових резултата и њихове економске интуиције.

Кључне речи: робни деривати, термински уговори, модел трошкова преноса, искористиви принос

Abstract: During the past two years, prices of crude oil futures were above the corresponding spot prices. Such circumstances, also known as “contango”, are typical for commodities that are predominantly investment goods. Hence, they are in contrast with economic intuition and historical behaviour of energy prices. This paper develops a method based on the cost-of-carry model, which can be used to describe observed deviations. The method is illustrated on an example of Brent crude oil futures between April 1, 2014 and July 1, 2016. Convenience yield, which measures the benefit of holding a commodity as a physical good rather than a futures contract on it, had markedly negative values throughout the period of observation. Such values allow to describe the inversion in the crude oil market, even when interest rates are close to zero. The paper offers possible explanations of these findings and their economic intuition.

Keywords: commodity derivatives, futures contracts, cost-of-carry model, convenience yield

1. УВОД

У контексту финансијских тржишта, под робом (енгл. *commodities*) подразумевамо добра која на тржишту имају широку тражњу али не и квалитативно издиференцирану понуду. У овом контексту, типичан пример робе су, рецимо, пољопривредни производи или енергенти. Робом се на велико тргује на посебно специјализованим робним берзама (енгл. *commodity exchanges*). Трговина је на њима регулисана и врши се путем стандардизованих терминских уговора (енгл. *futures contracts*) и сродних финансијских деривата, са прецизно прописаном количином и квалитетом робе, као и датумом и начином испоруке робе купцу.

За разлику од финансијских инструмената, робу обично не сматрамо искључиво инвестиционим добром – кукуруз, соја, природни гас, сирова нафта или обојени метали имају широку примену у свакодневном потрошњи и индустријској производњи. Наиме, поседовање неког добра може постати веома профитабилно када су кретања тржишних цена неправилна. Овако нешто

се обично дешава у тренуцима када је понуда одређене робе привремено ниска. Тада релативни мањак робе на тржишту помера цене за испоруку у кратком року навише у односу на цене у дугом року.

Уколико већина инвеститора купује неку робу примарно као инвестиционо добро, онда ће цене терминских уговора такве робе бити претежно изнад цена тренутне (енгл. *spot*) испоруке. Тада ће важити услов $F_{i,T} > S_i$, где $F_{i,T}$ означава цену, у тренутку t , терминског уговора који доспева у тренутку T , док је S_i цена спот испоруке у тренутку t . Овакав услов значи да инвеститори у средњем сматрају да је исплативије ући у дугу позицију у терминском уговору (и стећи право на поседовањем робе физички у неком каснијем тренутку) него поседовати ту исту робу сада. Описана

ситуација се у жаргону назива „контанго“ (енгл. *contango*).¹

У случају да већина инвеститора купује робу превасходно као потрошно добро, цене терминских уговора могу бити и испод цена тренутне испоруке. Тада ће важити услов супротан претходном, тј.

$F_{i,T} < S_i$, који значи да инвеститори преферирају

поседовање физичке робе у односу на термински уговор. Оваква ситуација на тржишту се обично назива „беквардација“ (енгл. *backwardation*). Беквардација је уобичајено својство цена на глобалним тржиштима енергената и индустријских метала.² Историјске тржишне цене сирове нафте углавном су испољавале беквардацију, што је последица високог ризика наглог смањења понуде, незанемарљивих трошкова транспорта, високих и постојано растућих нивоа потрошње, и релативно ниске вредности као колатерала за позајмице. Насупрот томе, контанго је типичан за претежно инвестициона добра, попут племенитих метала. Ово је лако видети на основу понашања терминских уговора за испоруку злата и сребра, који представљају добра која карактерише врло низак ризик смањења понуде, ниски трошкови транспорта, релативно ниски нивои потрошње у односу на расположиве залихе (посебно ако се узме у обзир монетарно злато), апсолутно одсуство пада у квалитету и квантитету са протоком времена, одсуство ефеката сезонности у потрошњи или производњи, и – коначно – веома висока вредност када се користе као колатерали.

Уколико бисмо пратили еволуцију кривих рочне структуре терминских уговора (тј. зависности цене терминског уговора $F_{i,T}$ од преосталог времена до испоруке $T-t$), за већину врста робе бисмо уочили релативно стабилно понашање на дужим рочностима и прилично волатилно понашање на краћим рочностима. Овакво понашање потиче од тога што су цене за испоруке са дужим роковима уско повезане са граничним трошком производње, док су ближе рочности условљене краткорочном динамиком понуде и тражње.

У последњих неколико година цена сирове нафте на светском тржишту је на прилично ниском нивоу у односу на историјске вредности. Током јануара 2016. она се спустила до нивоа од око 30 америчких долара за барел, што је минимум у последњих 12 година. Истовремено, термински уговори са дужим роковима доспећа су од 2014. имали цену која је *виша* од спот цене, што значи да се тржиште сирове нафте,

супротно економској интуицији и уобичајном историјском понашању, налазило у условима контанга. Циљ овог рада је да понуди начин да се оваква појава опише и разуме.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Кретање цена различитих типова робе игра главну улогу у вредновању потраживања насталих робном разменом, као и исплативости инвестирања у екстракцију примарних сировина. Стога је од изузетног теоријског и практичног значаја познавање особина и фактора који утичу на то кретање.

Једна од најважнијих специфичности цена робних деривата, која их разликује од хартија од вредности и других финансијских инструмената, јесте својство кретања цене ка средњој вредности (енгл. *mean reversion*). Ова особина се сматра чврстом емпиријском чињеницом³ и има сасвим јасну микроекономску интуицију. Наиме, ако је у равнотежи цена неке робе релативно висока у односу на њену дугорочну средњу вредност, понуда ће расти пошто ће за произвођаче који имају релативно високе трошкове производње или екстракције бити профитабилно да уђу на тржиште. Тако се ствара ценовни притисак одозго, па ће се цене постепено враћати ка дугорочној средњој вредности.⁴ Насупрот томе, када је тржишна цена неке робе релативно ниска, понуда ће опадати јер ће само произвођачима који имају релативно ниске трошкове производње или екстракције бити исплативо да учествују на тржишту, чиме се ствара притисак на цену одоздо, што доводи до њеног постепеног раста. Оваква специфична интеракција релативних цена и понуде ствара кретање ка дугорочној средњој вредности, која је одређена граничним трошком производње.⁵ У литератури постоји читав низ радова који дискутују ову особину кретања цена робних деривата. Неки од примера су Gibson & Schwartz (1990), Brennan (1991), Bessembinder *et al.* (1995), Schwartz (1997), Pindyk (2001) и Cortazar & Schwartz (2003).

Један од најједноставнијих модела за процену вредности робних деривата узима у обзир само један фактор ризика – спот цену робе. Геометријско Брауново кретање, као најједноставнији процес, не би био адекватан избор за моделирање кретања цене, с обзиром да има варијансу која се неограничено повећава са временом, тако да не може да опише особину кретања ка средњој вредности. Gibson & Schwartz (1990) као алтернативу предлажу двофакторски модел, кога примењују на цену сирове нафте. У њиховом моделу, први фактор је спот цена нафте, а други тзв. „искористиви принос“ (енгл. *convenience yield*), који Brennan (1991) дефинише као премију коју је могуће остварити посе-

¹ Порекло саме речи *contango*, која се усталила у жаргону трговања робом на велико, није познато. Претпоставља се да потиче од искварене латинизације енглеских речи *continuation* (продужење) или *contingent* (онај који зависи од нечега). Појавила се средином XIX века на Лондонској берзи, где је означавала накнаду коју је купац плаћао продавцу када је желео да одложи тренутак испоруке у односу на претходно уговорени датум.

² Тада се назива и „нормална беквардација“.

³ Видети, рецимо, Pilipovic (1998).

⁴ Тражња за енергентима, пољопривредним производима или индустријским и племенитим металима релативно је стабилна, уз мање или више изражене ефекте сезонности.

⁵ У случају катализованих сировина као што је нафта, дугорочна средња вредност представља циљну цену која максимизује профит картела.

довањем робе у физичкој форми, у односу на одговарајући термински уговор. Додатна вредност може потицати од тога што нека врста робе чини саставни део производног процеса, или од тога што се њеним поседовањем може моментално профитирати у случају недостатака у понуди на тржишту. Искористиви принос такође зависи и од трошкова осигурања и складиштења, који се фундаментално разликују у зависности од врсте робе. Равнотежна цена терминских уговора је стога одређена равнотежном вредношћу искористивог приноса, док би спот цена требало да зависи само од понуде и тражње, и очекивања тржишта о будућим ценама.⁶

Екстензије овог модела иду ка увођењу реалистичних дескрипција неризичних каматних стопа, које се мењају са временом, као трећег фактора ризика (в. Schwartz, 1997). Као што Crosby (2008) истиче, овакви дво- и трофакторски модели, иако засновани на геометријском Брауновом кретању, имплицитно садрже особину кретања ка средњој вредности уколико искористиви принос и неризична каматна стопа и сами имају исту особину.

Корисно својство поменутих модела је то што по правилу омогућавају аналитичка решења за цене терминских уговора и што им је веза између логаритма цена терминских уговора и фактора ризика линеарна. Међутим, један од недостатака оваквих приступа јесте и тај што наведени модели покушавају да експлицитно опишу динамику искористивих приноса. Искористиви принос, међутим, није директно обсервабилна величина, тако да не постоји емпиријски доказ за било коју од предложених динамика. Стога ће вредности дериватних инструмената добијени на основу таквих модела бити превише осетљиве на исправност претпостављене динамике искористивог приноса. Сличну критику је изнео и Crosby (2008), који као решење предлаже један уопштени модел за процену вредности изведених инструмената, а укључује читав низ емпиријских чињеница и избегава експлицирања динамике искористивог приноса.

3. МОДЕЛ

Најједноставнији начин да повежемо цене терминских уговора са спот ценама је посредством модела трошкова преноса (енгл. *cost of carry*):

$$F_{t,T} = S_t e^{c_{t,T}(T-t)}, \quad (1)$$

где је $c_{t,T}$ вредност континуално укамаћене стопе трошкова преноса у тренутку t за термински уговор који доспева у тренутку T . Контанго одговара ситуацијама у којима је $c_{t,T} > 0$, док беквардација настаје у случајевима када је $c_{t,T} < 0$. На основу једнакости (1),

можемо успоставити везу између стопе трошкова преноса и искористивог приноса $\delta_{t,T}$:

$$c_{t,T} = r_{t,T} - \delta_{t,T}, \quad (2)$$

где је $r_{t,T}$ дисконтна стопа, тј. стопа приноса до доспећа у тренутку t хипотетичке неризичне бескупонске обвезнице која доспева у тренутку T (Miltersen, 2003). Комбиновањем једнакости (1) и (2) лако је уверити се да важи:

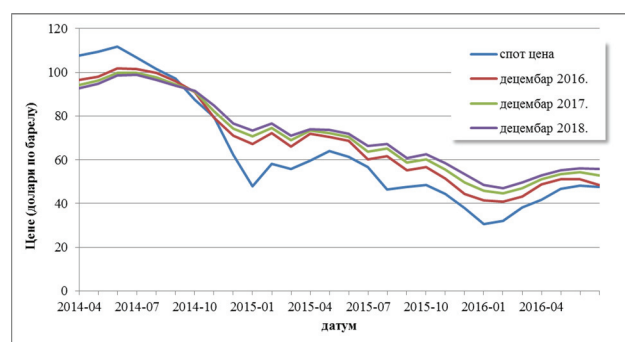
$$\delta_{t,T} = r_{t,T} - \frac{1}{T-t} \ln \left(\frac{F_{t,T}}{S_t} \right). \quad (3)$$

Искористиви принос је заправо и уведен у литературу како бисмо могли да опишемо феномен беквардације, карактеристичан за енергенте и сродне производе. Када је $F_{t,T} < S_t$, природни логаритам у изразу (3) има негативну вредност, па је тада и $\delta_{t,T} > r_{t,T}$.

Из једнакости (3) такође видимо и да нам је за оцену стопе искористивог приноса у било ком тренутку неопходно да имамо процену дисконтних стопа и вредности цена терминских уговора за све рочности које су нам релевантне, као и вредност спот цене у истом тренутку.

4. РЕЗУЛТАТИ

Резултати емпиријског дела овог истраживања добијени су на месечним подацима о ценама Брент сирове нафте са Међународне робне берзе (International Commodity Exchange) у Лондону. За „спот“ цене узети су подаци о ценама терминских уговора најближег датума испоруке („првог тенора“), у виду непрекидне серије месечних цена од 1. априла 2014. до 1. јула 2016, изражене у доларима по барелу. За податке о ценама терминских уговора коришћена су три уговора фиксних датума испоруке – децембар 2016, децембар 2017. и децембар 2018. године. Ове четири временске серије приказане су заједно на Слици 1. Контанго је уочљив у периоду од октобра 2014.



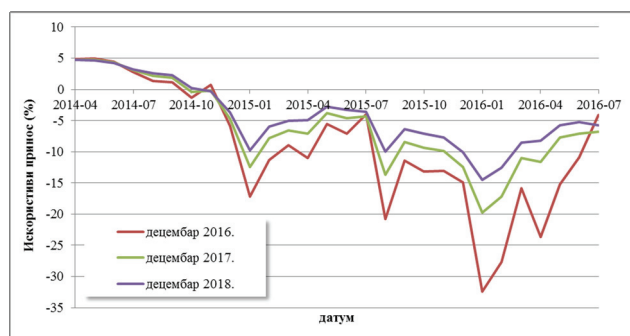
Слика 1: Кретање цена спот и терминских уговора

Месечна фреквенција је изабрана како би се умањило утицај дисторзија које потичу од тржишне микроструктуре, и избегли ефекти сезоналности који потичу од почетака или краја радних недеља. Као дисконтне

⁶ У моделу кога су предложили Gibson & Schwartz (1990), искористиви принос такође има особину кретања ка средњој вредности и позитивно је корелисан са спот ценом нафте.

стоје коришћене су линеарно интерполиране вредности стопа на трезорске хартије Сједињених Америчких Држава, чије су рочности 4 недеље, 3 месеца, 6 месеци, 1 година, 2 године, 3 године и 5 година. Подаци за рочности до 1 године преузети су из базе података FRED Economic Data, коју администрирају Федералне резерве у Сент Луису, док су подаци за рочности преко годину дана преузети са Thomson Reuters Datastream.

Искористиви принос израчунат на основу једнакости (3) приказан је на Слици 2 за терминске уговоре са доспећима у децембру 2016, 2017. и 2018. године. Контанго ће заменити нормалну беквардацију терминских уговора онда када искористиви приноси падну испод одговарајућих дисконтних стопа, тј. када је задовољен услов $\delta_{i,T} > r_{i,T}$. Међутим, на Слици 2 можемо уочити испољавање много израженијег феномена, а то је да искористиви приноси имају чак и *негативне* вредности почев од новембра 2014. године, које се задржавају све до краја узорка. Додатно, са Слике 2 можемо видети и да су искористиви приноси у протеклих 12 месеци имали изразито негативне вредности за термински уговор са доспећем у децембру 2016. године, што указује на то да је управо тај уговор имао највеће трошкове преноса у поређењу са друга два.



Слика 2: Кретање искористивих приноса

Табела 1: Сумарне статистике процењених искористивих приноса

доспеће \ статистика	2016-12	2017-12	2018-12
ср. вред.	-9,12	-5,93	-4,27
ст. дев.	9,88	6,62	5,28
минимум	-32,38	-19,79	-14,49
максимум	4,91	4,77	4,73
коэф. аутокор.	0,71	0,80	0,83
Ljung-Box (1)	15,64***	19,87***	21,22***

*** означава p -вредности мање од 0,01

Сумарне статистике израчунатих серија искористивих приноса дате су у Табели 1. На основу просечних и минималних вредности можемо се и формално уверити у закључке добијене на основу Слике 2. Додатно, видимо да коефицијенти аутокорељације имају релативно високе и статистички значајне вредности, што потврђује интуицију већине вишефакторских модела да се динамика кретања искористивих приноса у кон-

тинуалном времену може успешно описати помоћу модела са повратком ка средњој вредности.

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је изложен једноставан начин за рачунање искористивих приноса, на основу којих можемо описати значајна одступања терминских од спот цена чак и када су каматне стопе блиске нули. Модел трошкова преноса формално дозвољава да оваква одступања буду и супротна уобичајеном односу терминских и спот цена.

Појава контанга на тржишту сирове нафте је вероватно пролазне природе, али је потрајала довољно дуго да није могла настати потпуно случајно. Једноставно објашњење је да тржишни учесници верују да су тренутне спот цене сувише ниске да подстакну повећање производње у ближој будућности. Алтернативно објашњење, мотивисано управо негативним искористивим приносима, је да је до инверзије дошло због тога што су глобални капацитети за сладиштење сирове нафте постали ограничени, због чега је спот цена морала да падне у односу на цене терминских уговора.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bessembinder, H., Coughenour, J. F., Seguin, P. J., Smoller, M., "Mean Reversion in Equilibrium Asset Prices: Evidence from the Futures Term Structure", *Journal of Finance*, 50(1) (1995) 361–375.
- [2] Brennan, M. J., "The Price of Convenience and the Valuation of Commodity Contingent Claims", in: Lund, D., & Oksendal, B. (eds), *Stochastic Models and Option Values*, North Holland, 1991.
- [3] Cortazar, G., Schwartz, E. S., "Implementing a Stochastic Model for Oil Futures Prices", *Energy Economics*, 25 (2003) 215–238.
- [4] Crosby, J., "A Multi-Factor Jump-Diffusion Model for Commodities", *Quantitative Finance*, 8(2) (2008) 181–200.
- [5] Gibson, R., Schwartz, E. S., "Stochastic Convenience Yield and the Pricing of Oil Contingent Claims", *Journal of Finance*, 45(3) (1990) 959–976.
- [6] Miltersen, K. R., "Commodity Price Modelling that Matches Current Observables: A New Approach", *Quantitative Finance*, 3 (2003) 51–58.
- [7] Pilipovic, D., *Energy Risk*, New York, McGraw-Hill, 1998.
- [8] Pindyk, R. S., "The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer", *Energy Journal*, 22(3) (2001) 1–29.
- [9] Schwartz, E. S., "The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging", *Journal of Finance*, 52(3) (1997) 923–973.



ДОПРИНОС УПРАВЉАЊА РИЗИЦИМА УСПЕШНОСТИ ПОСЛОВАЊА ОСИГУРАВАЈУЋИХ КОМПАНИЈА

THE CONTRIBUTION OF RISK MANAGEMENT TO BUSINESS SUCCESS OF INSURANCE COMPANIES

МИРЕЛА МИТРАШЕВИЋ

Факултет пословне економије Бијељина, Универзитет у Источном Сарајеву, Семберских ратара бб,
mirela.mitrasevic@fpe.unssa.rs.ba

ДЕЈАН ТРИФУНОВИЋ

Економски факултет Универзитета у Београду, Каменичка 6, 11000 Београд, dejan@ekof.bg.ac.rs

МИЛИЦА КОЧОВИЋ

Институт економских наука, Змај Јовина 12, 11000 Београд, milica.kocovic@ien.bg.ac.rs

Резиме: *Solvency II*, као нови глобални регулаторни захтев, у оквиру Процеса сопствене процене ризика и солвентности (*Own Risk and Solvency Assessment- ORSA*) обезбеђује интегрисани приступ пословном планирању и управљању ризиком. Суштина овог процеса је да се проуче захтеви за капиталом током времена на низу сценарија, као и да се сагледају ефекти промене ризичних параметара на резултате пословања. У овом раду су приказани принципи функционисања Процеса сопствене процене ризика и илустрован утицај склоности према ризику на захтевани капитал осигуравајуће компаније.

Кључне речи: *Процес сопствене процене ризика, захтевани капитал, склоност према ризику, солвентност.*

Abstract: *Solvency II*, as the new global regulatory requirement, within the framework of its own risk and solvency assessment provides an integrated approach to business planning and risk management. The essence of this process is to study the requirements for capital over time in a series of scenario, as well as to provide better information about the effects of changes in risk parameters on operating results. In this paper, the principles of ORSA are described and the impact on the propensity to risk on required capital of insurance companies is illustrated.

Keywords: *Own Risk and Solvency Assessment, Required capital, propensity to risk, solvency.*

1. УВОД

Процес сопствене процене ризика и солвентности је један од кључних елемената процеса управљања ризиком предузећа (*Enterprise Risk Management – ERM*). Велики број регулатора осигурања прописује обавезно спровођење овога процеса. Увођење *ORSA* је иницирано од стране Међународне асоцијације супервизора осигурања, која је у Основним принципима осигурања 16 (*Insurance Core Principle 16*) овај процес дефинисала као део Управљања ризиком предузећа. У овом раду приказани су принципи *ORSA* који су дефинисани у оквиру другог стуба концепта *Solvency II* и истакнут је значај овог приступа за обезбеђење успешности пословања осигуравајуће компаније.

2. ПОЈАМ СОПСТВЕНЕ ПРОЦЕНЕ РИЗИКА И СОЛВЕНТНОСТИ

У оквиру концепта *Solvency II* све осигуравајуће компаније морају да докажу да су способне да примене адекватан и ефикасан систем управљања ризицима.

Регулаторни оквир за спровођење процеса управљања ризицима у осигуравајућим компанијама дефинисан је другим стубом у оквиру концепта *Solvency II*, док је технички оквир дефинисан стандардима за спровођење процеса управљања ризиком предузећа.

ORSA представља процес сопствене процене ризика у циљу оцене солвентности на бази садашњег и очекиваног ризичног профила осигуравајуће компаније уз уважавање склоности према ризику. Овај процес је веома значајан за обезбеђење солвентности и о резултатима његове примене морају бити информисани надзорни органи.

Један од задатака *ORSA* је да утврди да ли претпоставке коришћене приликом обрачуна захтеваног капитала одступају од ризичног профила компаније. Неопходно је размотрити у којој мери су промене које прозрокују ризици у складу са склоностима према ризику и које мере ће бити могуће спровести у циљу ублажавања ефеката на финансијски положај осигуравајуће компаније. За постизање ових циљева неопходно је да

лице задужено за управљање ризиком формулише низ сценарија у којима ће бити представљена пројекција изложености ризику и да изврши процену ефеката тих сценарија на финансијски положај осигураваача.

ORSA треба да буде у складу са пословном стратегијом и процесом пословног планирања осигуравајуће компаније. [3] Из тог разлога временски хоризонт који је обухваћен ORSA процесом мора бити исти као и временски хоризонт за који се врши пословно планирање (три до пет година). При томе се подразумева да све билансне позиције треба да буду вредноване по тржишној вредности.

Имајући у виду неизвесност присутну у процени ризика, потенцијални утицај нежељених догађаја на резултате пословања осигуравајуће компаније утврђује се користећи стрес тестове.

3. АНАЛИЗА СЦЕНАРИЈА И СТРЕС ТЕСТОВИ

Стрес тестови и анализа сценарија се већ дуго користе за управљање ризиком и за оцену солвентности од стране надзорних тела. На основу Solvency II и делегираног акта (*Delegated Acts*), који је у оквиру овог концепта донет октобра 2014. године, под стрес тестом се подразумева "анализа утицаја једног штетног догађаја", док анализа сценарија представља "анализу утицаја комбинације нежељених догађаја".

Сценарији би требало да обезбеде анализу утицаја индивидуалних и комбинованих ризика и потенцијалних активности менаџмента. Креирање сценарија захтева одређени ниво експертске процене, што услед одређених субјективних ставова и склоности према ризику може довести до сценарија који су превише песимистични или превише оптимистични.

Како је ORSA саставни део стратешког одлучивања, основни сценарио треба да одговара планираним вишегодишњим билансима осигураваача. Примарни циљ примене методе пројекције засноване на анализи сценарија и стрес тестовима је процена колико капитала ће бити довољно да се под условима који су далеко лошији од очекиваних обезбеди солвентност. У оквиру ових анализа сви материјално значајни ризици, који могу утицати на способност осигураваача да испуни своје обавезе из уговора о осигурању морају бити процењени. Ризици који су обухваћени овим тестовима могу укључивати ризике који нису квантификовани приликом обрачуна захтеваног капитала за обезбеђење солвентности (*Solvency Capital Requirement – SCR*), али су квалитативно укључени у оцену.

Стрес тестови и анализа сценарија проучавају утицај једног или више фактора ризика на укупан ризични профил осигураваача и његову финансијску стабилност.

Први стрес тестови од ступања на снагу Solvency II стандарда, започети од стране Европског надзорног тела за осигурање и пензијско осигурање (EIOPA) 24.

маја 2016. усмерени су на два велика тржишна ризика: дуго раздобље ниских каматних стопа и дуго раздобље ниских каматних стопа уз пад вредности имовине. Циљ тестирања је процена отпорности сектора на негативна кретања каматних стопа на тржишту и испитивање утицаја ових промена на величину системског ризика.

Стрес тестови представљају један од редовних надзорних алата који помажу да се процени отпорност сектора осигурања на потенцијалне негативне тржишне утицаје и да се донесу валидни закључци за обезбеђење стабилности финансијског система.

Стрес тестови могу да се користе за идентификацију потенцијалних претњи на солвентност и анализу мера за смањење њиховог утицаја на финансијски положај осигуравајуће компаније.

Ови тестови и сценарио анализа омогућавају идентификацију ризика који могу угрозити опстанак компанија, али и планирање потребних акција у случају да се неповољни сценарији реализују.

Имајући у виду да ни најбоље пројектован ORSA процес не може бити ефикасан ако није праћен благовременим акцијама, значајан део овог процеса подразумева процену способности реаговања на нежељене догађаје.

4. УТИЦАЈ СКЛОНОСТИ ПРЕМА РИЗИКУ НА РЕЗУЛТАТЕ ПОСЛОВАЊА

Циљ управљања ризиком и капиталом треба да буде повећање пословне ефикасности минимизирањем трошкова преузимања ризика, што захтева проучавање фактора који утичу на профитабилност као и начина на који осигураваачи могу утицати на њихово побољшање. Под профитабилношћу осигуравајуће компаније се подразумева остваривање одређене стопе приноса (*Return on Equity - ROE*) на уложени капитал. Стопа приноса на капитал осигураваача представља однос нето добити у одређеном периоду и капитала осигураваача.

У сврху пословног планирања често се користи *risk-adjusted return on capital –RAROC*, као мера профитабилности која омогућаје да се укључи будући ризични профил осигураваача. [14]

Ова мера профитабилности се може одредити на следећи начин:

$$RAROC = \frac{CB(\text{добит од осигурања}) + CB(\text{добит од инвестирања})}{CB(\text{захтевани капитал})} (1 - \tau) \quad (1)$$

Где је:

CB- садашња вредност

τ- пореска стопа

Према концепту *Solvency II* осигураваач може користити две методе за обрачун захтеваног капитала за обезбеђење солвентности *SCR*: европску стандардну формулу (*European Standard Formula*) или компанијске интерне моделе. У оквиру стандардне формуле ризик компаније се одређује на бази унапред дефинисаних тржишних параметара. Захтевани капитал за обезбе-

ђење солвентности (*Solvency Capital Requirement – SCR*) је подељен на три компоненте: основни SCR (*BSCR -Basic Solvency Requirement*), корекција за ефекат апсорпције ризика техничких резерви и одгођених пореза (*Adj*) и капитал који се односи на оперативне ризике (*SCR_{op}*) [7]

$$SCR = BSCR + Adj + SCR_{Op} \quad (2)$$

SCR узима у обзир ризик осигурања, тржишни ризик, ризик да друга страна неће испунити обавезу и оперативни ризик, и сви они су даље раздељени на неколико подкатегија. За сваку категорију ризика приликом процене претпостављено је да вероватноћа појављивања губитка износи 0,5% у току следећих 12 месеци. [6]

ORSA би требао да обезбеди да осигуравајуће компаније ефикасније управљају ризицима, у складу са својим стратешким изборима и склоностима према ризику. Као што је претходно речено, стандардна формула претпоставља да се захтевани капитал одређује користећи value at risk (*VaR*) уз ниво поузданости 99,5%, што одговара рејтингу “*BBB*” [9]. Осигуравачи могу да имају другачију склоност према ризику у односу на ону која је претпостављена у стандардној формули. Уколико компанија жели да обезбеди бољи рејтинг онда ће користити строже критеријуме при обрачунању *VaR*. За обезбеђење рејтинга *A* неопходно је користити ниво поузданости од 99,9% [13]

Како бисмо илустровали утицај слоности према ризику на величину захтеваног капитала и профитабилност на дан 31.12.2017. године претпоставићемо да компанија има индивидуални стандард адекватности капитала који износи 99,9% и на тај начин жели да обезбеди „*A*“ рејтинг.

Уколико се претпостави да одштетни захтеви (*X*) имају логнормалну расподелу са параметрима μ и σ ниво потребног капитала за покриће ризика да ће ниво одштетних захтева да прекорачи ниво премије осигурања се може одредити израчунавањем максималног износа одштетних захтева који се очекује у току 2017. године уз ниво поузданости 99,9%. Уважавајући чињеницу да логнормална расподела представља расподелу вероватноће случајне променљиве *X*, а да $\ln(X)$ следи нормалну расподелу, максималан износ одштетних захтева који индицира *VaR* се може одредити употребом Excel-ових функција *EXP* и *NORMINV* на следећи начин:

$$VaR[X;p] = F_x^{-1}(p) = EXP(NORMINV(p, \mu, \sigma)) \quad (3)$$

где је:

$VaR[X;p]$ - *p*- квантил расподеле случајне променљиве *X* са функцијом расподеле F_x .

$F_x^{-1}(p)$ - инверзна функција расподеле случајне променљиве *X* за дато $p \in (0,1)$

NORMINV - инверзна функција нормалне расподеле са параметрима μ и σ

μ – представља очекивану вредност нормалне расподеле

$$\mu = (4 \cdot LN(Mean) - LN(StdDev^2 + Mean^2)) / 2. \quad (4)$$

Mean – очекивана вредност штета

StdDev – стандардна девијација вредности штета

σ – представља стандардну девијацију нормалне расподеле

$$\sigma = (LN(StdDev^2 + Mean^2) - 2 \cdot LN(Mean))^{0.5}. \quad [4] \quad (5)$$

Веома је важно да компанија размотри могућност да ће износ капитала који она треба да поседује пасти испод минимално захтеваног. Уколико се претпостави да одштетни захтеви имају логнормалну расподелу са параметрима μ и σ , уз вредност премије у износу 50.000 новчаних јединица и радио штета од 65% ниво потребног капитала одредиће се на следећи начин:

		Очекиване вредности на дан 31.12.2017.
1	Премија (новчаних јединица)	50.000,00
2	Радио штета (%)	65
3	Очекивана вредност штета (новчаних јединица) (3)=(1)x(2)	32.500,00
4	Стандардна девијација вредности штета	4.857,12
5	Очекивана вредност нормалне расподеле (μ)	10,378
6	Стандардна девијација нормалне расподеле (σ)	0,149

<i>p</i>	Величина одштетних захтева (новчаних јединица) применом формуле (3)	Додатни капитал који индицира VaR (новчаних јединица)
99,50%	47.135,62	-
99,90%	50.880,63	880,63

У овом случају захтевани капитал би требало да буде једнак збиру капитала које захтева надзорни орган и додатног капитала који индицира *VaR*.

У датом примеру уз вероватноћу 99,90% очекиване штете прекорачују планирани ниво премије осигурања, тако да ће бити потребан додатни капитал.

Повећање захтеваног капитала уз непромењене показатеље добити из делатности осигурања и инвестирања ће даље утицати на смањење *RAROC* показатеља.

Можемо да закључимо да профитабилност осигуравајуће компаније зависи од остварених прихода од пословања осигурања и инвестирања, али и од висине захтеваног капитала који зависи од изложености ризику компаније.

Када се израчунају исходи сценарија и утврде могући износи расположивог капитала осигуравача, неопходно је изабрати методе које ће се користити за ублажавање ризика који угрожавају расположиви капитал. Осигуравач може да повећа капитал и / или да смањи изложеност ризику на бази реосигурања и других облика трансфера ризика. У случају да је расположиви капитал мањи од захтеваног капитала компанија би требало да размотри мере на смањењу ризичности, а самим тим и побољшању пословних перформанси и

смањењу захтеваног капитала или да изврши докапитализацију.

Приликом разматрања могућих начина смањења ризика или корективних акција, менаџери ризика могу да тестирају ефикасност предложених активности изменом идентификованих основних сценарија, укључујући ефекат мера усмерених на смањење ризика.[5]

Треба имати у виду да је валидација алата и процеса који се користе у сврху управљања ризиком и процена способности реаговања на нежељене догађаје важнија од добијања квантитативних резултата, јер су резултати процена подложни променама.

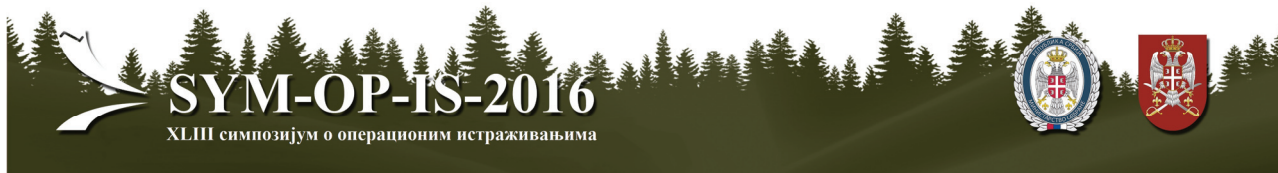
5. ЗАКЉУЧАК

Анализа захтева за капиталом и стратешког планирања висине капитала је главни фокус ORSA процеса и мора бити спроведена у сарадњи са менаџментом компаније. Како би се испитале основне претпоставке које се користе за процес планирања величине капитала и испитала отпорност сектора осигурања на потенцијалне негативне тржишне утицаје примењују се стрес тестови.

Осигуравач треба да спроведе процену солвентности на основу своје тренутне позиције и да припреми пословни план за наредних три до пет година. Имајући у виду неизвесност присутну у процени солвентности, веома је значајан процес сопствене процене ризика који је угрожавају, како би се благовремено предузеле акције у циљу минимизирања њиховог негативног утицаја.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] American Academy of Actuaries, Insurance Enterprise Risk Management Practices, March 2013, https://www.actuary.org/files/ERM_practice_note_030713_exposure.pdf (приступљено 2.6.2016)
- [2] Asselmann, Patrik, Stress testing and scenario analysis: the ISA approach, November 2014, https://www.munichre.com/site/corporate/get/documents_E-1850352686/mr/assetpool.shared/Documents/5_Touch/_Publications/302-08501_en.pdf (приступљено 22.3.2016).
- [3] Bennett, R. and S. Strydom, Solvency projections: what's the point unless you get some value from the results? Presented at the Actuarial Society of South Africa's 2014. Convention 22–23 October 2014, Cape Town International Convention Centre. <http://actuarialsocietyconvention.org.za/convention2014/assets/pdf/papers/2014%20ASSA%20Bennett.pdf> (приступљено 27.3.2016)
- [4] Hitchcox A.N., Hinder I.A., Kaufman A.M., Maynard T.J., Smith A.D. And White M.G., 2006 : "Assessment of target capital for general insurance firms", UK Institute of Actuaries, Sessional meeting - 27 November 2006, <https://www.actuaries.org.uk/sites/default/.../sm20061127.pdf> (приступљено 18.3.2016.).
- [5] Insurance Enterprise Risk Management Practices, March 2013 https://www.actuary.org/files/ERM_practice_note_030713_exposure.pdf
- [6] Митрашевић, М, Актуарска и финансијска анализа адекватности капитала компанија за неживотна осигурања (докторска дисертација), Економски факултет Београд, 2010.
- [7] Technical Specification for the Preparatory Phase (Part I), EIOPA-14/209, 30 April 2014, https://eiopa.europa.eu/Publications/Standards/A_-_Technical_Specification_for_the_Preparatory_Phase_Part_I.pdf
- [8] The Internal Audit Function and the Own Risk and Solvency Assessment (ORSA) Practical Guide. 2015. http://www.iaa.nl/SiteFiles/Publicaties/IIA_Bro%20A4%20Handreiking%20IAF-ORSA%20ENGELS%2002.pdf(приступљено 22.3.2016).
- [9] The own risk and solvency assessment (ORSA), Willis Re, 2012, [http://www.willisre.com/documents/Media_Room/Publication/The_Own_Risk_and_Solvency_Assessment_\(ORSA\).pdf](http://www.willisre.com/documents/Media_Room/Publication/The_Own_Risk_and_Solvency_Assessment_(ORSA).pdf) (приступљено 18.3.2016.).January 2012
- [10] http://www.academia.edu/4507521/pwc_pillar_2_operational_issues_of_risk_management (приступљено 22.3.2016).
- [11] http://www.milliman.com/uploadedFiles/insight/2013/ORSA_international-requirement.pdf (приступљено 27.3.2016)
- [12] <https://eiopa.europa.eu/Pages/Financial-stability-and-crisis-prevention/Stress-test-2016.aspx> (приступљено 25.6.2016)
- [13] <https://www.actuaries.org.uk/sites/.../a2-andrew-hitchcox.pdf> (приступљено 20.6.2016.).
- [14] <https://www.soa.org/Files/.../research-risk-app-link-report.pdf> (приступљено 20.6.2016.).



КВАНТИТАТИВНИ РЕВИЗИЈСКИ АЛАТИ ЗА ОТКРИВАЊЕ ОБМАЊУЈУЋЕГ ФИНАНСИЈСКОГ ИЗВЕШТАВАЊА

QUANTITATIVE AUDIT TOOLS FOR DETECTING MISLEADING FINANCIAL REPORTING

МИРОСЛАВ ТОДОРОВИЋ

Економски факултет, Универзитет у Београду, todorovic@ekof.bg.ac.rs

МАЈА МИЛОСАВЉЕВИЋ

Erste Bank А.Д. Нови Сад, majamilosavljevic@erstebank.rs

Резиме: Развојем ревизијске методологије заједно са напретком информационих технологија дошло је до појаве проактивних алата са разноврсним областима употребе, најчешће у смеру постизања веће прецизности у раду ревизора. У фокусу овог рада су ревизијски алати за откривање обмањујућег финансијског извештавања развијени на основу два важна концепта: Бенеишевог модела и Бенфордовог закона. Осим очигледних користи, које су елабориране у раду, ови алати имају и одређене недостатке којих ревизори морају бити свесни приликом тумачења резултата. Другим речима, колико год квантитативни алати били напредни, синергија са квалитативним карактеристикама података и спровођење додатних поступака је неопходно у циљу извођења исправних закључака о евентуалним манипулацијама у финансијском извештавању.

Кључне речи: квантитативни ревизијски алати, обмањујуће финансијско извештавање, Бенеишев модел, Бенфордов закон.

Abstract: The development of audit methodology, together with progress of information technology has led to emergence of proactive tools with various areas of use, mostly in the direction of achieving greater precision in work of auditors. The focus of this paper is on auditing tools for detection of misleading financial reporting developed based on two important concepts: Beneish model and Benford's law. Besides the obvious benefits, which are elaborated in this paper, these tools have certain drawbacks which the auditors must be aware of when interpreting results. In other words, as far as quantitative tools have been advanced, synergies with qualitative characteristics of data and implementation of additional procedures is necessary in order to reach correct conclusions about possible financial reporting manipulations.

Keywords: Quantitative audit tools, Misleading financial reporting, Beneish model, Benford's law.

1. УВОД

Финансијски извештаји могу бити предмет различитих преварних радњи које умањују њихову употребну вредност за кориснике. Настојање ревизора да стекну разумно уверавање да финансијски извештаји не садрже материјално значајне погрешне исказе који су резултат превара укључује и примену квантитативних алата. Примена ових алата своју популарност дугује једноставности употребе, јасности резултата и објективности у тумачењу истих. На тај начин олакшано је детектовање евентуалних манипулација, што омогућава уштеду у времену и другим ресурсима неопходних за прикупљање довољно одговарајућих доказа за формирање мишљења о финансијским извештајима. У овом раду представљен је појам и значај манипулација у финансијским извештајима и могућности за употребу квалитативних алата за њихову детекцију. Фокус рада је на тзв. проактивним квантитативним ала-

тима развијеним на основу два теоријска концепта: Бенеишевог модела и Бенфордовог закона. Коначно, извршена је упоредна анализа представљених алата и сагледане су њихове предности и недостаци код примене у ревизији.

2. МАНИПУЛАЦИЈЕ У ФИНАНСИЈСКОМ ИЗВЕШТАВАЊУ

Манипулације у финансијском извештавању односе се на намерно изостављање или погрешно исказивање износа или/и обелодањивања у финансијским извештајима које је осмишљено тако да се обману корисници финансијских извештаја [6]. Манипулације у финансијским извештајима могу бити спроведене на различите начине, нпр. путем фалсификовања рачуноводствене документације, погрешних ставова за књижење, погрешног приказивања или неприказивања одређених пословних трансакција, погрешне презента-

ције, класификације или обелодањивања позиција у финансијским извештајима и слично.

Обмањујуће финансијско извештање представља облик криминалне радње или преваре. Глобални Институт интерних ревизора дефинише преваре као ”сваки илегални акт који карактеришу обмане, прикривања или кршење поверења” [7]. Америчко удружење овлашћених специјалиста за откривање превара, преваре дефинише као ”коришћење нечијег рада на радном месту за лично богаћење кроз намерну погрешну употребу или погрешну примену ресурса или средстава организације” [10]. Надаље, Амерички институт овлашћених рачуновођа дели преваре на обмањујуће финансијско извештавање и злоупотребе имовине тј. проневере средстава [9]. Заједничким напорима помених института и удружења, сачињен је практични водич за управљање ризиком превара у коме се преварне радње дефинишу као сваки намерни поступак или грешка осмишљени тако да обману друге, који за резултат имају жртву која трпи губитак и/или починиоца који остварује корист [8].

Традиционални ревизијски квантитативни алати за анализу квалитета финансијских извештаја имају широк обухват. У ову категорију могуће је у првом реду уврстити различите аналитичке поступке, попут анализе тренда и рачуна анализе финансијских извештаја. Тако се нпр. сумња на надувавање прихода од продаје у оквиру аналитичких поступака може развити праћењем промена коефицијента обрта потраживања, односа прихода од продаје и примања од продаје, односа промена у приходима од продаје у односу на промене у потраживањима од купаца и сл.

Подстакнути развојем информационе технологије, данас су ревизорима на располагању и одређени софистицирани проактивни квантитативни алати за откривање манипулација у финансијским извештајима. Овакви алати укључују разнолике квантитативне анализе података пре састављања финансијских извештаја, континуирану ревизију, аутоматско означавање неубичајених квантитативних података или трансакција у информационом систему, сигнализирање постојања других квантитативних индикатора који захтевају пажњу, анализу података коришћењем вишеструких извора података, употребну напредних софтвера за препознавање одређених квантитативних неправилности у шемама књижења и слично [6]. Два значајна и често коришћена квантитативна алата из ове групе разматраћемо у наставку.

3. ОДАБРАНИ КВАНТИТАТИВНИ АЛАТИ ЗА ДЕТЕКТОВЕЊЕ ОБМАЊУЈУЋЕГ ФИНАНСИЈСКОГ ИЗВЕШТАВАЊА

Квантитативни алати који се често користе у ревизији и форензичком рачуноводству, и које детаљније разматрамо у овом раду, заснивају се на два теоријска концепта: Бенеишевом моделу и на Бенфордовом закону.

3.1. БЕНЕИШЕВ МОДЕЛ

Бенеиш [2] је развио свој модел на основу истраживања чији је циљ био да идентификује индикаторе који могу указати на постојање манипулација у финансијским извештајима, а пре свега у вези исказаног добитка. Исход примене модела је М-резултат (*M-score*), који се рачуна на следећи начин:

$$\begin{aligned} \text{М-резултат} = & -4,84 + 0,920 \cdot \text{DSRI} + 0,528 \cdot \text{GMI} + 0,404 \cdot \text{AQI} \\ & + 0,892 \cdot \text{SGI} + 0,115 \cdot \text{DEPI} - 0,172 \cdot \text{SGAI} \\ & - 0,327 \cdot \text{LVGI} + 4,670 \cdot \text{TATA} \end{aligned} \quad (1)$$

Објашњење варијабли коришћених за обрачун М-резултата дато је у табели 1.

Табела 1: Преглед варијабли Бенеишевог модела

1. DSRI	Индекс старости купаца
2. GMI	Индекс бруто маргине
3. AQI	Индекс квалитета средстава (мерен учешћем свих неопипљивих средстава у укупним средствима)
4. SGI	Индекс стопа раста продаје
5. DEPI	Индекс процента амортизације (мереним у односу на набавну вредност некретнина, постројења и опреме)
6. SGAI	Индекс учешћа трошкова продаје, управе и администрације
7. LVGI	Индекс левериџа (мерен односом укупног кредитног задужења и укупних средстава)
8. TATA	Неготовинска трајна обртна средства у односу на укупна средства [2] или Добитак пре ванредних ставки умањен за нето новчани ток из пословне активности у односу на укупна средства [3]

Прилагођено према [2] и [3].

Претходно приказани индекси рачунају се као однос датих рачуна бројева с краја године и рачуна бројева из претходне године. Последња варијабла – ТАТА, која хвата употребу позиција разграничења тј. раскорак рачуноводственог добитка и нето новчаног тока, рачуна се само на основу података с краја године. За верзију модела из 2013. истиче се да је за ову варијаблу понуђена побољшана дефиниција која почива на употреби података из извештаја о новчаним токовима [3]. Остале варијабле и коефицијенти остали су непромењени у односу на иницијални модел.

Одабраних осам варијабли или хватају аномалије у финансијским извештајима које су резултат учињених манипулација (то су: DSRI, AQI, DEPI и TATA) или указују на предиспозицију компаније да би због погоршања економских услова могла да се упусти у обмањујуће финансијско извештавање (GMI, SGI, SGAI и LVGI). Типична компанија манипулатор је: 1) она која расте брзо тј. има екстремно високу стопу расте продаје у односу на претходну годину (варијабла

SGI); 2) суочава се са погоршањем фундамената, као што су пад квалитета средства (AQI), профитних маргина (GMI и SGAI) и раст задужености (LVGI) и 3) примењује агресивне рачуноводствене праксе рефлектоване у расту потраживања много већем од продаје (DSRI), великим позицијама разграничења у сврхе повећања прихода (TATA) и смањењу трошкова амортизације (DEPI).

Да би израчунао вероватноћу манипулација, Бенеиш је користио пробит регресију. Како код сваке статистичке дискриминаторне анализе постоји могућност грешке у класификацији, поређећи трошкове грешке типа I (да манипулатор буде сврстан у поштене компаније) и грешке типа II (да «невина» компанија буде сврстана у манипулаторе), тачку разграничења је поставио на -1,78, иако је вероватноћа манипулације за ту вредност релативно ниска и износи 3,75%. Значи, компанија се сврства у манипулаторе уколико се применом наведене формуле добије резултат већи од -1,78.

Тестирањем модела на узорку компанија из реалног сектора у којима су откривене најкрупније и најпознатије рачуноводствене преваре у САД периоду 1998-2002. (Enron, WorldCom, Adelphia и др.) показано је да је модел успешно детектовао преваре у 12 од 17 случајева, и то у просеку годину и по пре него што је то јавно обелодањено. Занимљиво је да су у односу на компаније из исте гране које нису биле умешане у обмањујуће финансијско извештавање, компаније манипулатори имале драстично или значајно веће промене у свих осам варијабли, нпр. раст потраживања од купаца од 41,2% наспрам 3% у контролној групи [3].

3.2. БЕНФОРДОВ ЗАКОН

Бенфордов закон (*Benford's law*) или закон прве цифре говори да расподела прве цифре није униформна, односно да се све могуће цифре не појављују равномерно као прва цифра у реалним подацима. Највише се појављује цифра 1, а што је цифра већа, то се појављује у мање случајева као водећа [5]. Тако нпр. код података са четири и више цифара око 30% свих података почиње цифром 1, 18% са цифром 2 и тако редом до цифре 9 са којом започиње мање од 5% података. Слична законитост важи и за појављивање цифара у реалним подацима на другом, трећем и сваком наредном месту, али што се иде даље разлике су значајно мање – нпр. на другом месту се највише појављује цифра 0 са 11,97%, а најмање 9 са 8,5%. Стога се ревизори уобичајено фокусирају само на прву цифру сагледавајући да ли одступање расподеле прве цифре у исказаним износама од Бенфордове расподеле може да укаже на постајање превара. За доказ аномалија потребно је измерити фреквенције појављивања сваке од цифара на првом месту и упоредити их са Бенфордовим фреквенцијама, уз тестирање статистичке значајности разлика путем Z-статистике. Друга алтернатива је да уместо појединачног тестирања за сваку од цифара укупна значајност разлика за све цифре испита уз помоћ Хи-квадрат теста. Генерално, што је већа

вредност Хи-квадрат статистике, то је мање вероватно да је одступање случајно, односно већа је вероватноћа постојања манипулација у финансијским извештајима [1].

Квантитативни алати засновани на Бенфордовом закону се уобичајено користе за анализу података презентованих у захтевима за исплатом осигурања, пореских пријава, извештаја о трошковима зарада, износа на фактурама купаца и добављача, односно исказаних износа на рачунима купаца, добављача, картицама основних средстава и сл. Занимљиво је да се закључци добијени на основу Бенфордовог закона третирају као валидан доказ у судским поступцима у Сједињеним Америчким Државама, као и да одређене компаније отказују сарадњу са својим пословним партнерима чији подаци из пословних књига нису у складу са Бенфордовим законом [5].

3.3. КРИТИЧКА ОЦЕНА КВАНТИТАТИВНИХ АЛАТА

Ниво прецизности који се може постићи употребом традиционалних аналитичких поступака најчешће није довољан за детектовање обмањујућег финансијског извештавања, стога међународни стандарди ревизије не инсистирају на њиховој примени у фази тестирања. Ипак, у фази планирања ревизије аналитички поступци могу да укажу на подручја већег ризика за наставак манипулација [11].

У односу на традиционалне аналитичке поступке, а за добијање упоредивих закључака, квантитативни алати засновани на Бенеишевом моделу и Бенфордовом закону одликују се већом једноставношћу у примени и интерпретацији добијених резултата. Једноставност се првенствено односи на чињеницу да они представљају већ готова решења и стога не захтевају претерану креативност и умешност у избору рачуна бројева или анализе трендова. Осим тога, они не захтевају ни временске серије података из дужег низа обрачунских периода или податке за упоредива предузећа у грани, нефинансијске податке и сл., што представља велике изазове код аналитичких поступака. Коначно, ови алати су директније усмерени на детектовање манипулација, са пристојним степеном прецизности у раду. Присутни су и одређени недостаци ових алата.

Иако је, као што је напред указано, Бенеишев модел дао добре резултате на тестирању анегдотских компанија манипулатора, потребно је имати у виду да је исти развијен релативно давно када су се примењени рачуноводствени стандарди доста разликовали од данашњих. У међувремену је, у најмању руку, заступљеност позиција које се исказују на основу процене, поготово по фер вредности, значајно порасла. То указује да, све иако је осам одабраних варијабли и даље од највеће објашњујуће моћи, постоји могућност да би се регресирањем података данас добили другачији коефицијенти у моделу, како у САД тако, рецимо, и у Србији.

Остављајући по страни потенцијалну анахроност варијабли и коефицијената, чињеница је да је значајно већа предиктивна моћ варијабли из прве две групе, које указују на склоност манипулацијама, док варијабле из треће групе првенствено откривају да су примењене рачуноводствене политике агресивне. Агресивне рачуноводствене политике могу водити материјално значајним погрешним исказима, али исте нису нужно индикатор превара већ често исказ природне склоности менаџера ка претераном оптимизму.

Бенеиш је, вагајући између трошкова два типа грешака, тачку разграничења поставио релативно ниско. Стога постоји релативно велика вероватноћа да се компанија чији је израчунати М-резултат нешто већи од -1,78 сврстава у манипулаторе, иако у реалности то ипак није. Чак и код компанија са М-резултатом значајно већим од -1,78, квантитативни алат заснован на Бенеишевом моделу указује само на постојање могућности манипулација резултатом, а никако не представља доказ да су се манипулације заиста десиле. За извођење таквог закључка биле би потребно спровести додатне анализе. Слично запажање односи се и на интерпретацију одступања података од Бенфордове дистрибуције.

Скуп података ће добро подржавати Бенфордову дистрибуцију ако је добијен на бази комбиновања података из два различита скупа, као што су нпр. подаци о евидентираним износима на рачуну прихода од продаје будући да се исти добијају као производ података о количинама и података о ценама. Практично највећи број података у рачуноводственим евиденцијама задовољава овај захтев, али не и подаци који потичу из серијских нумерација, подаци који имају минимум и максимум и сл. Такође, употребом алата није могуће детектовати оне врсте превара које се тичу намерног неевидентирања података, фиктивних продаја или фиктивних набавки. Додатно, у циљу избегавања лажних закључака, примену алата треба ограничити само на релативно велике скупове података. Стога је он подеснији за употребу на целину популације, а не код узорковања, на годишње, уместо месечних података и сл. Најподеснији су скупови података који имају просек значајно већи од медијане [4].

5. ЗАКЉУЧАК

Обмањујуће финансијско извештавање није једноставно открити уобичајеним ревизијским поступцима. За те сврхе, у овом раду представљени квантитативни алати могу бити од велике користи. Међутим, ревизори морају бити свесни ограничења ових алата које је неопходно узети у обзир како би изведени закључци били адекватни и непристрасни. Пре свега, потребно је приликом сагледавања постојања могућности манипулација у финансијским извештајима узети у обзир и пратеће, квалитативне факторе и све друге релевантне информације. Разлог за то је чињеница да рачуноводствени износи морају бити праћени пословним тран-

сакцијама са економском суштином. Ослањањем само на квантитативне податке, без испитивања суштине пословних трансакција, закључак о постојању манипулација у финансијским извештајима могао би да буде погрешан. Коначно, распрострањеност квантитативних алата за откривање манипулација у финансијским извештајима учинила је да менаџери компанија буду веома свесни истих, те да, стога, покушавају да пронађу начине да манипулације држе на "прихватљивом нивоу", што умањује употребну вредност наведених квантитативних алата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aris, N.A., Arif, S.M., Othman, R., Omar, N. B., *Fraud Detection: Benford's Law vs Beneish Model*, IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research (SHUSER), Malaysia, 2013.
- [2] Beneish, M. D., "The Detection of Earnings Manipulation", *Financial Analysts Journal*, September/October (1999) 24-36.
- [3] Beneish M. D., Lee C., Nichols C., Earnings "Manipulation and Expected Returns", *Financial Analysts Journal*, 69-2 March/April (2013) 57-82.
- [4] Durtschi C., Hillson W., Pacini, C., "The Effective Use of Benford's Law to Assist in Detecting Fraud in Accounting Data", *Journal of Forensic Auditing* (2004), 23.
- [5] Huzak M., Hasić A., Blašković B., Kušec D., Iveković J., *Benfordov zakon*, Prirodno-matematički fakultet, Zagreb, 2010.
- [6] Reding K., Sobel P., Anderson U., Head M., Ramamoorti S., Salamasick M., Riddle C., *Internal Auditing – Assurance and Advisory Services*, 3rd edition, The Institute of Internal Auditors Research Foundation, Altamonte Springs, 2013.
- [7] Sawyer L. B., Adams P., Cutler S., McCuaig B., Rai S., Roth J., *Sawyer's Internal Auditing Volume 2 – Internal Audit Processes and Methods*, 6th edition, The Institute of Internal Auditors Research Foundation, Altamonte Springs, 2012.
- [8] The Institute of Internal Auditors (IIA), The American Institute of Certified Public Accountants (AICPA), Association of Certified Fraud Examiners (ACFE), *Managing the Business Risk of Fraud: A Practical Guide*, USA, 2008.
- [9] The American Institute of Certified Public Accountants – AICPA, *Statement on Auditing Standards No. 99: Consideration of Fraud*, New York, USA, 2002, 1719 – 1722.
- [10] The Association of Certified Fraud Examiners - ACFE, *Report to the Nations on Occupational Fraud and Abuse*, Austin, USA, 2014.
- [11] Тодоровић, Вучковић Милутиновић, *Ревизија*, Центар за издавачку делатност Економског факултета, Београд, 2015, стр. 141-142.

ГЕОИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ



ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ КАТАСТРА НЕПОКРЕТНОСТИ КАО ЈЕДИНСТВЕНЕ ЕВИДЕНЦИЈЕ О НЕПОКРЕТНОСТИМА И ПРАВИМА НА НЕПОКРЕТНОСТИМА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF REAL ESTATE CADASTRE AS UNIQUE RECORDS OF REAL ESTATE AND REAL ESTATE RIGHTS IN REPUBLIC OF SRPSKA

АЛЕКСАНДАР ИЛИЋ

Министарство одбране Републике Србије, Сектор за политику одбране,
aleksandar.ilic@mod.gov.rs

ЂУРИЋ МЛАДЕН

Републичка управа за геодетске и имовинско-правне послове Бања Лука, ПЈ Модрича, консултант на Пројекту
регистрације некретнина, djomla.dj@gmail.com

АМОВИЋ МЛАДЕН

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, mladen.amovic@hotmail.com

Резиме: У Републици Српској тренутно је у току успостава јединствене евиденције о непокретностима и правима на непокретностима. Ова успостава се реализује у оквиру Пројекта регистрације некретнина, финансираног из кредита Свјетске банке и буџетских средстава. Циљ је формирање ажурне евиденције која ће објединити геодетско-техничке и имовинско-правне податке и замијенити постојеће евиденције које су у великој мјери неажурне и непрактичне са становишта ажурирања и редудантности података. Овакав приступ у складу је са европским препорукама и директивама, прије свега са публикацијом Катастар 2014. У раду је дата краћа анализа предности и недостатака катастра непокретности.

Кључне речи: Катастар непокретности, Излагање на јавни увид података о непокретностима и утврђивање права на непокретностима, земљишне евиденције

Abstract: In the Republic of Srpska is currently in the process of establishing uniform records on real estate and rights to real estate. This establishment is implemented under the Real Estate Registration Project, funded by a World Bank loan and budget funds. The goal is to form up to date records which will include geodetic technical and legal-property data and replace existing records that are largely outdated and impractical from the point of updates and data redundancy. This approach is in line with EU recommendations and directives, particularly with the publication of Cadastre 2014. The paper includes a short analysis of the advantages and disadvantages of the real estate cadastre.

Keywords: Real Estate Cadastre, Public display of data on real estate and determination of rights to real estate, land records

1. УВОД

На подручју Републике Српске у току је поступак оснивања јединствене евиденције о непокретностима и правима на непокретностима, катастра непокретности. Он представља стаставни дио Пројекта регистрације некретнина, финансираног дијелом из кредита Свјетске банке бр. 15880-ВА, дијелом из властитих буџетских средстава. За имплементацију овог пројекта задужена је Републичка управа за геодетске и имовинско-правне послове Бања Лука. Предвиђени рок завршетка пројекта је 2025. година. Оснивање катастра непокретности врши се кроз Излагање на јавни увид података о непокретностима и утврђивање права на непокретностима (У даљем тексту: Излагање). Овај поступак регулисан је законским и подзаконским актима, [7], [8], [9], [10].

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање је засновано на утврђивању предности и недостатака катастра непокретности у односу на постојеће евиденције о непокретностима и правима на непокретностима, као и на поређењу са различитим приступима оснивању ажурних евиденција у земљама региона. Поред тога, истраживање је резултат досадашњег искуства аутора у раду на припреми података за Излагање и учествовању у поступку Излагања у својству консултанта.

Подручје истраживања

Рад се односи на поступак оснивања јединствене евиденције о непокретностима и правима на непокретностима у Републици Српској. Пројекат регистрације

некретнина спорводи се на територији цијеле Босне и Херцеговине, али се користи различит приступ у оснивању ажурних евиденција о непокретностима на нивоу ентитета. У Републици Српској у току је оснивање евиденције која ће објединити геодетско-техничке и имовинско-правне податке о непокретностима, катастар непокретности, док се у Федерацији Босне и Херцеговине проводи посупак оснивања усклађених катастарских и земљишнокњижних евиденција. У Брчко Дистрикту користи се приступ оснивања јединствене евиденције некретнина, Регистра земљишта и права на земљишту.

Досадашња истраживања

Формирање јединствене евиденције у складу је са [2]. Међутим, неке од земаља у региону користе и дугачији приступ, који укључује и обнову Земљишне књиге [3], [5]. Овакав приступ ослања се на дугу традицију вођења Земљишне књиге. Недостатак литературе којом се утврђују предности и недостаци евиденција које обједињују геодетско-техничке и имовинско-правне податке последица је различитих приступа у оснивању ажурних земљишних евиденција.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Постојеће евиденције

Према [1], на подручју Републике Српске су, у зависности од расположивих података и законске регулативе, у одређеном времену, успостављене следеће врсте катастра:

- катастар некретнина израђен по [11],
- катастар непокретности израђен по [12],
- катастар земљишта израђен на основу катастарског премјера по [13] и ранијих прописа донесених прије усвајања Закона о премјеру и катастру некретнина (1984), односно концепта јединствене евиденције о непокретностима,
- катастар земљишта израђен на основу Аустроугарског премјера,
- пописни катастар за подручја гдје није било никаквог премјера.

Поред наведених евиденција, воде се још и Земљишна књига, као основна евиденција о правима на непокретностима, и Књига уложених уговора о откуп стамбених зграда и станова и Књига уложених уговора о продаји пословних зграда, пословних просторија и гаража. На основу наведеног, може се закључити да се систем земљишне администрације ослања на укупно осам евиденција о непокретностима и правима на непокретностима.

Поступак оснивања катастра непокретности

Поступак оснивања катастра непокретности дефинисан је одговарајућим законским и подзаконским актима [7], [9]. Оснивање катастра непокретности кроз поступак Излагања на јавни увид података о непокретностима и утврђивање права на непокретностима представља дуготрајан, али, због постојања великог броја евиденција и њихове различите тачности и

ажурности, оптималан начин оснивања ажурне евиденције о непокретностима и правима на непокретностима.

Предности катастра непокретности

Као основне предности катастра непокретности у односу на постојеће евиденције о непокретностима и правима на непокретностима, издвајају се:

- обједињавање геодетско-техничких и имовинско-правних података,
- једноставно ажурирање,
- смањење редувантности,
- сагласност са европским препорукама и директивама (Катастар 2014 и INSPIRE),
- смањење трошкова и временских рокова у раду са странкама,
- јединственост на нивоу ентитета.



Слика 1. Обједињавање постојећих евиденција о непокретностима и правима на непокретностима

Недостаци катастра непокретности

Као основни недостаци катастра непокретности у односу на постојеће евиденције о непокретностима и правима на непокретностима, издвајају се:

- сложен и дуготрајан поступак оснивања,
- заснованост на геодетско-техничким подацима различите тачности,
- заснованост на различитим земљишним евиденцијама,
- успостављање дигиталног катастарског плана на различите начине,
- традиција вођења Земљишне књиге.

Због постојања ових недостатака, сам поступак оснивања се вишеструко усложњава, те се одгађа ступање на снагу катастра непокретности. Поред тога, с обзиром на постојање различитих евиденција у различитим јединицама локалне самоуправе, није могуће примјенити јединствену методологију Излагања на територији цијеле Републике Српске.

Користи које се могу очекивати од оснивања катастра непокретности

Користи које се могу очекивати од оснивања катастра непокретности су:

- повећање ефикасности управе,
- боље разумијевање и комуникација,
- олакшана размјена података са различитим државним и органима локалне самоуправе,
- рјешавање имовинско-правних спорова,
- повећање повјерења у органе управе,
- повећање броја захтјева за легализацију бесправно изграђених објеката,
- олакшано просторно уређење и урбанистичко планирање,
- повећање вриједности непокретности,
- повећање промета непокретности,
- повећање броја домаћих и страних инвестиција.

Ажурност и тачност евиденција о непокретностима и правима на непокретностима, може представљати један од ослонаца привредног развоја Републике Српске, с обзиром да вишеструко олакшава домаће и стране инвестиције, прометовање непокретности, а самим тим и повећање прилива буџетских средстава.

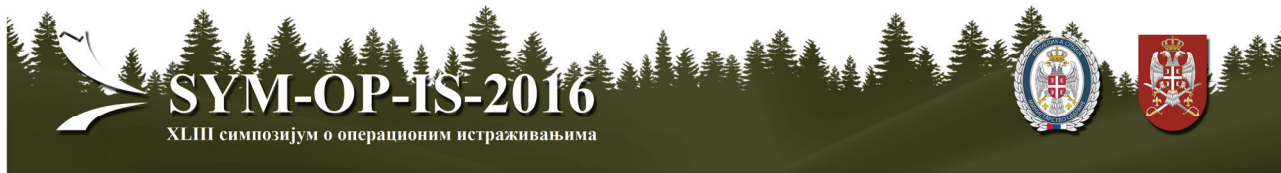
4. ЗАКЉУЧАК

На основу приказаног, може се закључити да катастар непокретности, као јединствена евиденција о непокретностима и правима на непокретностима, има више предности него недостатака и да ће користи од успоставе овакве евиденције бити вишеструке. Као највећи недостатак, може се издвојити дуготрајан процес оснивања и паралелност вођења постојећих евиденција до званичног ступања на снагу катастра непокретности.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Мадановић, Д., 2011., *Катастар непокретности у Републици Српској*, II. Конгрес о катастру у БИХ са међународним судјеловањем, Илица;

- [2] Kaufmann, J. and Steudler, D., 1998., *Cadastr 2014, A vision for future cadastral system*, FIG XXI International Congress, Brighton, United Kingdom;
- [3] Хрватска комора овлашћених инжењера геодезије, 2014., *Побољшање модела катастарских измјера*;
- [4] РУГИПП, 2015., Општина Модрича, *Извјештај о мапирању осјетљивих групација у процесу оснивања катастра непокретности*;
- [5] Карабег, Д., *Стање радова премјера и успостављање катастра некретнина на територији Федерације Босне и Херцеговине*, Стручни рад, UDK 528.44;
- [6] Латифовић, Ф., 2014., *Излагање на јавни увид података о некретностима и утврђивање права на земљишту у функцији успоставе јединственог регистра земљишта и права на земљишту у Брчко дистрикту БИХ*, Стручни рад, UDK 345.235:349.41:528.44;
- [7] Закон о премјеру и катастру Републике Српске, Службени гласник Републике Српске, бр. 6/12;
- [8] Закон о општем управном поступку, Службени гласник Републике Српске, бр.13/02;
- [9] Правилник о начину оснивања и одржавања катастра непокретности Републике Српске, Службени гласник Републике Српске, бр. 11/14;
- [10] Правилник о дигиталном геодетском плану, Службени гласник Републике Српске, бр. 43/04;
- [11] Закон о премјеру и катастру некретнина, Службени гласник Републике Српске, бр. 19/96, 15/2000;
- [12] Закон о премјеру и катастру непокретности, Службени гласник Републике Српске, бр. 34/2006, 110/08, 15/10;
- [13] Закон о одржавању премјера и катастра земљишта, Службени гласник Републике Српске, број 19/96;



ПРИМЕНА TOPSIS МЕТОДЕ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА КАТАСТАРСКЕ ОПШТИНЕ ЗА ИЗЛАГАЊЕ НА ЈАВНИ УВИД ПОДАТАКА О НЕПОКРЕТНОСТИМА И УТВРЂИВАЊЕ ПРАВА НА НЕПОКРЕТНОСТИМА

THE APPLICATION OF TOPSIS METHOD IN ELECTION OF CADASTRAL MUNICIPALITY FOR THE REAL ESTATE CADASTRE ESTABLISHMENT PROCEDURE OF PUBLIC DISPLAY OF DATA ON PROPERTIES AND PROPERTY RIGHTS DETERMINATION

АЛЕКСАНДАР ИЛИЋ

Министарство одбране Републике Србије, Сектор за политику одбране,
aleksandar.ilic@mod.gov.rs

МЛАДЕН ЂУРИЋ

Републичка управа за геодетске и имовинско-правне послове Бања Лука, ПЈ Модрича, стручни консултант,
djomla.dj@gmail.com

МЛАДЕН АМОВИЋ

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Бања Лука, Универзитет у Бањој Луци,
mladen.amovic@hotmail.com

Резиме: Примена методе вишекритеријумског одлучивања омогућује доносиоцу одлуке правилно, коректно и олакшано доношење одлука. Овакав приступ омогућује доношење одлука у случају када постоји већи број алтернативних решења, од којих је потребно изабрати оптимално. При томе се у највећој могућој мери искључује субјективност доносиоца одлуке. У раду је коришћена TOPSIS (engl. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) метода, која би се могла превести као техника преферирања сличности до идеалног решења. Приказана је примена ове методе у избору оптималне катастарске општине за поступак Излагања на јавни увид података о непокретностима и утврђивање права на непокретностима.

Кључне речи: TOPSIS, Излагање на јавни увид података о непокретностима и утврђивање права на непокретностима, алтернативе, критеријуми.

Abstract: Application method for decision making to decision makers properly, correctly and facilitates decision-making. This approach allows decision-making in the event that there are a number of alternatives, one of which is necessary to choose the optimum. In doing so, as far as possible exclude subjectivity of decision-makers. We used the TOPSIS -Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution method, which could be translated as a technique preference similarity to an ideal solution. Shown here is the application of these methods in the selection of optimal cadastral municipality for the procedure of public display of data on real estate and the determination of property rights.

Keywords: TOPSIS, Public Display of data on properties and property rights determination, alternatives, criteria.

1. УВОД

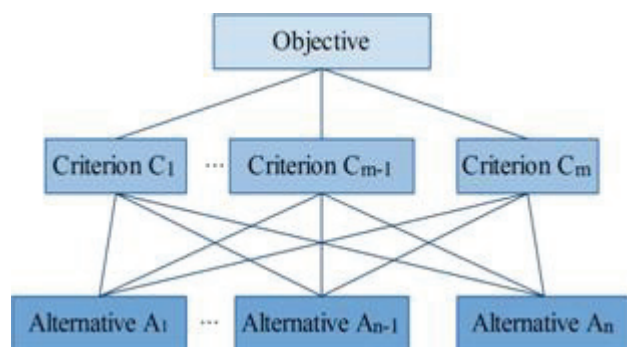
Поступак оснивања катастра непокретности, као јединствене евиденције о непокретностима и правима на непокретностима, саставни је део пројекта Регистрације некретнина и финансиран је из кредита Светске банке број 15880-VA и из средстава Републичке управе за геодетске и имовинско-правне послове Бања Лука (РУГИП). Управо РУГИП представља и носиоца активности у вези са овим пројектом. Пројекат започет 2014. године и реализован је или је у току, у већем

броју година/општина, а крајњи рок за завршетак је 2025. година. Формирање јединствене евиденције, која обједињује геодетско-техничке и имовинско-правне податаке о непокретностима, у складу је са европским препорукама и директивама [1]. Оснивање ове евиденције врши се кроз поступак Излагања на јавни увид података о непокретностима и утврђивање права на непокретностима (Излагање). Законска регулатива којом је ова област регулисана дата је у [6], [7], [8], [9].

Приликом избора катастарске општине у којој ће се спроводити поступак Излагања потребно је у што већој мјери искључити субјективни утицај доносиоца одлуке и од више алтернатива изабрати најпогоднију. При томе се у обзир узима већи број критеријума који утичу на доношење одлуке. Приликом рангирања алтернатива обично се захтијева максимизација или минимизација одређених критеријума, који могу бити и конфликтни. Једна од могућности приликом рјешавања овог проблема је примјена TOPSIS методе.

TOPSIS метода означава технику преферирања сличности до идеалног рјешења. Представили су је [2] и представља методу за оптимизацију по већем броју критеријума која идентификује најбољу конфигурацију од коначног броја алтернатива [3]. Идеја ове методе је да изабрана алтернатива треба имати најмању удаљеност од идеалног рјешења-*positive ideal* и највећу удаљеност од најлошијег-*negative ideal* рјешења. Ова метода се може описати и низом следећих корака:

- Добити податке перформанси за n алтернатива по k критеријума, при чему се сирова мерења обично стандардизују.
- Развити сет тежинских фактора за сваки критеријум.
- Идентификовати позитивно идеално решење (екстремне позитивне перформансе за сваки критеријум).
- Идентификовати негативно идеално решење (најнеповољније перформансе за сваки критеријум).
- Успоставити меру удаљености поједине алтернативе од ова два рјешења- $d_p^+(a_i)$ и $d_p^-(a_i)$.
- За сваку алтернативу одредити положај у односу на ова два решења- $d_p(a_i)$.
- Рангирати алтернативе у опадајући низ у зависности од вредности ових удаљености.



Слика 1. Шематски приказ TOPSIS методе
Извор:[11]

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Мотив за истраживање представља недостатак литературе којом се тертира област оснивања јединствене евиденције о непокретностима и права на непокретностима у Републици Српској. Разлог овоме је и различит приступ у успостави ажурних евиденција о непокретностима и правима на непокретностима у земљама региона. Циљ истраживања је приказивање методе вишекритеријумске анализе у циљу искључења су-

бјективности приликом избора катастарских општина за поступак Излагања. Предложени критеријуми се, у зависности од специфичности катастарских општина, могу проширити или изменити. Рад приказује једноставан пример са малим бројем катастарских општина и малим бројем критеријума, пре свега због обима самог рада.

У овом истраживању коришћене су:

- Метода анализе којом се рашчлањивањем познатих тврдњи стиче јаснија представа о објектима проучавања. У конкретном примеру, проблематика оптималног избора катастарске општине за Излагање рашчлањена је на оцену критеријума који утичу на сам избор.
- Метода синтезе којом се повезују једноставније тврдње и закључци у сложеније и уопштеније тврдње са сврхом бољег и систематичнијег проучавања односа између објеката истраживања. У конкретном примеру, на основу оцене већег броја критеријума, долази се до решења првобитно задатог проблема.
- Метода компарације за потребе упоређивања истих или сличних чињеница, појава и процеса којим су објекти истраживања дефинисани са одговарајућим елементима упоредивости и дата одговарајућа оцена њихових карактеристика, чиме се недвосмислено може размотрити оправданост датог решења. У овом примеру, коришћени су резултати и методе које су применљиве у различитим инжењерско-техничким и другим областима.

Подручје истраживања

Истраживањем је обухваћено пет катастарских општина на територији општине Модрича. На основу примене вишекритеријумске анализе предложено је оптимално решење, односно изабрана је катастарска општина која највише погодује за поступак Излагања. С обзиром да ће поступком Излагања бити обухваћене све катастарске општине на територији Републике Српске, овај предлог представља оптимално решење у датом временском моменту.

Претходна истраживања

Обзиром да је могућност примене TOPSIS методе велика, постоји и велики број радова у којима су дати резултати примене ове методе у различитим областима [4], [5], [6]. Могућност примене ове методе на рангирање комасационих пројеката дата је у раду [4].

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Утврђивање алтернатива

Алтернативе (a_i) у овом примеру представљају следеће катастарске општине:

- К.О. Модрича,
- К.О. Добриња,
- К.О. Врањак,
- К.О. Гаревац и
- К.О. Таревци.

Дефинисање критеријума

Критеријуми на основу којих ће се вршити оптимизација алтернативних решења су:

- Укупна површина катастарске општине- k_1 ,
- Усклађеност старог и новог премјера- k_2 ,
- Број поседовних листова у катастарској општини- k_3 ,
- Укупан број важећих евиденција о непокретностима на подручју катастарске општине- k_4 и
- Степен прометовања непокретности- K_5 .

Дефинисање тежина појединих критеријума

Додељивање тежина појединим критеријумима представља утврђивање степена њихове реалтивне важности у поступку одлучивања. То је субјективна радња у којој се интерпретира систем вредности у конкретном задатку виšekритеријумске анализе [4]. Обзиром да се у овој фази јављају субјективни утицаји, постоје тежње да се ови поступци уреде и стандардизују. У овом примеру, тежине су одређене на основу АНР-*Analytic Hierarchy Process* методе и примене *Saaty*-јеве скале, којом се критеријуми пореде у паровима, у свим комбинацијама. Лингвистички критеријуми су на основу једноставне стандардизоване скале преведени у нумеричке вредности. У следећој табели дате су вредности тежина за поједине критеријуме:

Табела 1. Тежински коефицијенти за поједине критеријуме

Критеријум	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
Јединица	ha	%	Н.бр.	Н.бр.	Н.бр.
Тежина	0.073	0.124	0.089	0.499	0.216
Циљ	max	max	max	max	max

Резултати примене TOPSIS методе

Резултати примене TOPSIS методе на пет катастарских општина приликом избора катастарске општине за Излагање на јавни увид, односно рангирања катастарских општина по унапред утврђеним критеријумима, дати су у наредним табелама.

Табела 2. Матрица одлучивања

Критеријум	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
Јединица	ha	%	Н.бр.	Н.бр.	Н.бр.
Тежина	0.073	0.124	0.089	0.499	0.216
Циљ	max	max	max	max	max
Алтернатива- a_i					
К.О. Модрича	909	75	7802	4	0.75
К.О. Добриња	1305	65	3077	2	0.25
К.О. Гаревац	1778	40	4806	3	0.25

К.О. Таревци	1227	55	5514	2	0.25
К.О. Врањак	3357	50	8117	3	0.25

Табела 3. Нормализована матрица одлучивања

Алтернатива- a_i	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
К.О. Модрича	0.212	0.576	0.566	0.617	0.832
К.О. Добриња	0.304	0.499	0.223	0.309	0.277
К.О. Гаревац	0.414	0.307	0.349	0.463	0.277
К.О. Таревци	0.286	0.422	0.400	0.309	0.277
К.О. Врањак	0.781	0.384	0.589	0.463	0.277

Табела 4. Тежинска нормализована матрица одлучивања

Алтернатива- a_i	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
К.О. Модрича	0.015	0.071	0.050	0.308	0.180
К.О. Добриња	0.022	0.062	0.020	0.154	0.060
К.О. Гаревац	0.030	0.038	0.031	0.231	0.060
К.О. Таревци	0.021	0.052	0.036	0.154	0.060
К.О. Врањак	0.057	0.048	0.052	0.231	0.060

Табела 5. Удаљеност алтернатива од позитивно идеалног и негативно идеалног решења

Алтернатива- a_i	Удаљеност од позитивно идеалног рјешења- $d_p^+(a_i)$	Удаљеност од негативно идеалног рјешења- $d_p^-(a_i)$
К.О. Модрича	0.002	0.200
К.О. Добриња	0.198	0.025
К.О. Гаревац	0.148	0.079
К.О. Таревци	0.197	0.022
К.О. Врањак	0.144	0.094

Удаљеност поједине алтернативе рачуна се по формули:

$$d_p(a_i) = \frac{d_p^-(a_i)}{d_p^-(a_i) + d_p^+(a_i)} \quad (1)$$

Најбоља алтернатива је она за коју је вредност $d_p(a_i)$ највећа. Алтернативе рангиране у опадајући низ дате су у следећој табели:

Табела 6. Ранг листа катастарских општина за Излагање

Алтернатива- a_i	$d_p(a_i)$	Ранг
К.О. Модрича	0.990	1
К.О. Врањак	0.394	2
К.О. Гаревац	0.349	3
К.О. Добриња	0.111	4
К.О. Таревци	0.100	5

4. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата примене TOPSIS методе више-критеријумске анализе, може се констатовати да је најпогодније решење, односно од пет анализирани катастарских општина, најпогоднија катастарска општина за поступак Излагања је К.О. Модрича. Остале катастарске општине рангиране су редом: К.О. Врањак, К.О. Гаревац, К.О. Добриња, К.О. Таревци. Овај рад даје увид у могућности примене предложене методе, а за различита подручја, могуће је, у складу с потребама, дефинисати нове критеријуме, изменити тежине постојећих, изменити циљ за поједине критеријуме и слично.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kaufmann, J. and Steudler, D., 1998. *Cadastre 2014, A vision for future cadastral system*, FIG XXI International Congress, Brighton, United Kingdom;
- [2] Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.
- [3] Томола Фабро К., 2013. *Оптимизација параметара стохастичких алгоритама упоробом методе подијели и успореди*, Завршни рад бр. 3093, Факултет електротехнике и рачунарства, Свеучилиште у Загребу, Загреб.
- [4] Маринковић, Г., Трифковић, М., Лазић, Ј., *Рангирање комасационих пројеката применом TOPSIS методе*, Зборник радова грађевинског факултета 27, Грађевински факултет у Суботици, Универзитет у Новом Саду, 2015, УДК: 528.4:519.816, DOI: 10.14415/zbornikGFS27.18.
- [5] Wangchen Bhutia, P., Phipon, R., 2012. *Appication of ahp and topsis method for supplier selection problem*, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), e-ISSN: 2250-3021, p-ISSN: 2278-8719, Volume 2, Issue 10, PP 43-50.
- [6] Закон о премјеру и катастру Републике Српске, Службени гласник Републике Српске, бр. 6/12.
- [7] Закон о општем управном поступку, Службени гласник Републике Српске, бр.13/02.
- [8] Правилник о начину оснивања и одржавања катастра непокретности Републике Српске, Службени гласник Републике Српске, бр. 11/14.
- [9] Правилник о дигиталном геодетском плану, Службени гласник Републике Српске, бр. 43/04.
- [10] http://lejpt.academicdirect.org/A25/get_htm.php?htm=242_253
- [11] http://bpmmsg.com/academic/ahp_calc.php



ТЕХНОЛОШКИ ОКВИР ЗА ИЗРАДУ ДТК25 У ВОЈНОГЕОГРАФСКОМ ИНСТИТУТУ

TECHNICAL ENVIRONMENT FOR PRODUCTION DTK25 IN THE MILITARY GEOGRAPHICAL INSTITUTE

АЛЕКСАНДАР ПАВЛОВИЋ

Војногеографски институт, Београд, aleksandarsrb@gmail.com

ВИКТОР МАРКОВИЋ

Војногеографски институт, Београд, viktor_bre@yahoo.com

САША БАКРАЧ

Војногеографски институт, Београд, sbakrac@yahoo.com

Резиме: Овим радом се разматра оквир за успостављање технолошке линије за продукцију Дигиталне топографске карте размера 1:25000 у Војногеографском институту. Опис хардвера, софтвера и организација доменске рачунарске мреже су основне целине рада.

Кључне речи: *topografska karta, vojnogeografski institut, podaci o prostoru, baza podataka, izrada digitalne karte*

Abstract: *This paper reviews environment for establishment technical line in production digital topographical maps scale of 1:25000 in the Military Geographical Institute. Description of the hardware, software and organization domain computers network are basic chapters of the paper.*

Keywords: *topographic map, Military Geographical Institute, spatial data, database, production of digital map*

1. УВОД

Картографска делатност и продукција карата је међу првима прихватила и имплементирала нове информатичке и комуникационе технологије. У веома кратком времену картографија и продукција карата су са аналитичке и аналогне технологије прешле на дигиталну технологију, задржавајући своја начела и принципе. Представљање технолошког оквира за израду Дигиталне топографске карте размера 1:25000 (ДТК25) у Војногеографском институту представља предмет рада. Циљ рада је да се покажу предности израде ДТК25 у односу на класични метод. Опис хардвера, софтвера и организације доменске рачунарске мреже су три основне обрађиване целине, које су неопходне у процесу израде ДТК25. Истиче се да технолошки оквир за продукцију ДТК25 имплементира у окружењу Централне геопросторне базе података (ЦГБП). То омогућава интерабилност и сталабилност процеса израде, тј. повезивање генерисаних података са другим системима (корисницима), као и „прихват“ података из других система у производно окружење [5].

2. ХАРДВЕР

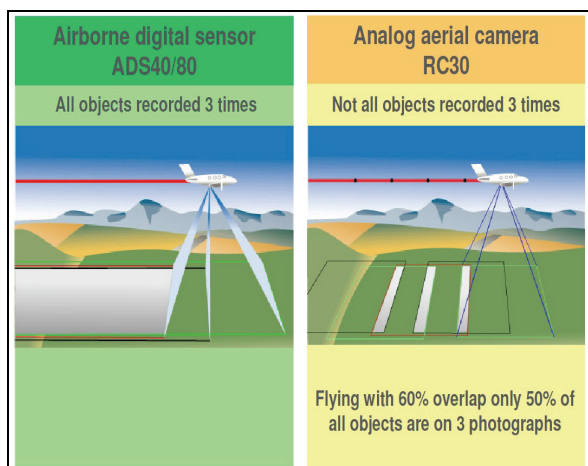
У хардвер улазе три веће групе компоненти: уређаји за прикупљање података, уређаји за обраду, руковање и публикување података и „излазни“ уређаји (за исписивање и цртање).

2.1. Уређаји за прикупљање података

Уређаји за прикупљање података, покривају све видове прикупљања просторних података са постојећих карата, теренска опажања и сензоре (укључујући снимање из ваздуха, сателите и инструменте за регистрацију), као и њихову конверзију у дигитални облик. Од бројних средстава, доступних на тржишту, укључена су следећа: интерактивни компјутерски екран, миш, дигитајзер, скенер (са сателита или авиона за директну регистрацију података или за конверзију карата и фотографских снимака) и уређаји неопходни за читавање података.

2.1.1. Аерофотограметријски сензор

У процесу израде ДТК25 основни картографски извор представља авиоснимак. Процес аерофотограметријског снимања се заснива у на дигиталној технологији, тј. користе се сензори изузетно велике резолуције, са дигиталним записом података. То је аерофотограметријски сензор фирме Leica ADS80. Велика предност дигиталних сензора у односу на аналогне је у подужном преклопу Сл. 1. Подужни преклоп код дигиталних сензора између снимака је 100%, док се код аналогних дефинише и износи око 60%. Попречни преклоп и код аналогних и код дигиталних снимака се дефинише и он је стандардан (изузимајући снимање за true ортофото) и износи 20-30%.



Слика 1: Поредиба дигиталног и аналогног сензора за ADS40/80 и RC30, произвођача Leica [7].

Битна разлика између дигиталних и аналогних камера јесте величина пикела сензора, односно резолуција сензора код дигиталне камере. Величина пикела је у међузависности са висином лета авиона, а самим тим и величином захвата територије у једном налету. Такође, предност дигиталних сензора у односу на аналогне камере се огледа и у броју оријентационих тачака на земљу које су неопходне за геореференцирање. Наиме, код дигиталних сензора је неопходно само 5 тачака за изравнање целокупног блока (блок представљају све линије снимања које имају попречни преклоп од најмање 30%), док је код аналогних камера неопходно минимално 4 тачке за сваку линију снимања.

2.1.2. Уређај за прикупљање података на терену

Иако су данашњи авиоснимци велике резолуције и детаљности, у процесу фотограметријске реституције није могуће увек недвосмислено идентификовати све објекте на њима. Такође, са авиоснимака се не могу сазнати квантитативни атрибути објеката и прикупити називи. Да би се та ограничења фотограметријске реституције превазишла, неопходно је извршити теренску проверу и допуну садржаја картираног материјала.

Током теренске провере и допуне садржаја идентификују се одређени објекти на терену, одређују њихове координате, мере се и прикупљају квантитативне карактеристике и уносе у теренске базе података [2].

Како се теренска провера и допуна садржаја не спроводи у бироу, него на терену који се картира, информатичка и телекомуникациона опрему морају бити прилагођена за рад у теренским условима.

За извођење теренске провере и допуне садржаја, неопходно је обезбедити од информатичко-телекомуникационих средстава:

- ГПС пријемник за позиционирање објеката на терену;
- Ласерски даљиномер за одређивање дужина;

- Преносни рачунар за прихват и иницијалну обраду података и уписивање у теренску реплику ЦГТБП;
- Комуникациони канал за трансвер података са терена до бироа.

У данашње време поједини специјализовани произвођачи хардвера су наведене уређаје објединили у један уређај.

2.1.3. Уређаји за превођење из аналогног у дигитални облик

Поред авиоснимака, као основног картографског извора, за продукцију ДТК25 у окружењу ЦГТБП користе се и други, допунски картографски извори. Као један од допунских картографских извора користе се и карте других размера (1:10000, 1:50000, 1:100000 и др.). Како су ове карте углавном у аналогном формату, пре њиховог коришћења у производном процесу, мора се извршити превођење у дигитални формат. За ову намену користе скенери великих формата. То су уређаји који аналогне податке преводу у дигиталну растерску слику, која се касније може публиковати мрежним сервисима и користити у процесу израде ДТК25 као допунски картографски извор.

2.2. Уређаји за обраду података

Обрада података у продукцији ДТК25 у окружењу ЦГТБП врши се углавном комерцијалним софтверским алатима, прилагођеним за поједине рачунарске платформе. У овом случају издвајају се две основне групе уређаја за обраду података: сервери и радне станице.

2.2.1. Сервери

Процес продукције ДТК25 базиран на клијент - сервер архитектури. Од сервера се захтевало да омогуће многе сервисе, а најбитнији су Microsoft Active Directory Services, Image Services, Print Services, File Services, Internet Access Services, Antivirus Services и др. Пред сервере су постављена још два врло битна захтева: расположивост и стабилност. Да би се сви сервиси успешно публиковали [1], без застоја у раду, неопходно је за сервере користити специјализован хардвер. Захтеване хардверске карактеристике код сервера биле су: радна меморија, брзина повезивања на мрежу и I/O перформансе. За имплементацију сервера у мрежно окружење користи се и технологија виртуализације. Она представља инсталирање више сервера на једној физичкој машини, што у многоме доприноси бољој искоришћености хардвера.

2.2.2. Радне станице

У процесу израде ДТК25 као основно средство за обраду података (векторских, растерских, алфанумеричких) користе се наменске радне станице. То су рачунари састављени од квалитетних и проверених компоненти, које могу да издрже велика оптерећења у своме раду. Радне станице, на који је инсталиран наменски софтвер и специфичан хардверски додаток, од простих радних станица постају фотограметријске и кар-

тографске радне станице, радне станице за 3Д рести- туцију, припрему за штампу и др. Захтеви који се по- стављају пред овакве радне станице, а које се користе за обраду података у продукцији ДТК25 су: процесор- ска снага,

велика радна меморија, редувантност складиштења података, велике графичке перформансе и велика дијагонала 2Д и 3Д монитора.

2.2.3. Излазни уређаји

Подаци могу бити приказани као карте, табеле и сли- ке (графици и дијаграми) на разнолике начине, почев од слика на екрану рачунара, преко штампаних излаза исцртаних штампачем или плотером, па до информа- ција које се меморишу на магнетним медијима у диги- талном облику. У уређаје за презентацију података спадају штампачи, плотери и дигитална штампарска машина.

Ако се подаци генерисани у продукцији ДТК25 желе графички презентовати у облику конвенционалних карата и планова, неопходна је примена плотера и аналогних штампарских машина. Дигитални подаци могу се директно пренети на штампарску машину тј. дигиталном штампом.

3. СОФТВЕР

Софтверске алате сачињавају програми (оперативни системи) који служе за покретање рачунара и перифе- ријских јединица (хардвера), као и програми за реали- зацију постављеног задатка као што је израда и уређе- ње текста или израда карата (апликативни програми).

ВГИ је своју технолошку линију за продукцију ДТК25 у окружењу ЦГТБП највећим делом базирао на фами- лији Microsoft Windows оперативних система [5], тј. Microsoft Windows XP, Microsoft Windows 7 и Micro- soft Windows Server 2008 R2. Избор апликативних пр- ограма који је неопходно користити у продукцији ДТК25 и тиме заокружити цео технолошки оквир у једну целину, представља један од најкомплекснијих и најбитнијих задатака у процесу успостављања техно- лошког оквира за продукцију ДТК25. Наиме, на тржи- шту апликативног софтвера намењеног за ГИС, обра- ду сликовних података, картографску продукцију и геопросторних база података влада велика шареноли- кост, јер постоји велики број произвођача и самих софтвера најразличитијих могућности и комплексно- сти. У ВГИ-у се дуги низ година вршило тестирање разних софтверских платформи намењених за продук- цију карата, њихове могућности, комплексност у ра- ду, поузданост, техничку подршку и правце даљег развоја те софтверске платформе. Након завршених тестирања и многобројних пилот пројеката ВГИ се определио за софтверску платформу фирме ESRI [4]. Ову софтверску платформу сачињавају:

ArcGIS Server – серверска платформа која омогућава упис, обраду и читање података из различитих база података, публикавање Image и Map сервиса, мигра- цију података из различитих система база података и др.;

ArcGIS Editor – клијентски софвер који омогућава прикупљање, обраду и преглед података који се користе у процесу израде ДТК25;

ArcGIS Info – напреднија верзија клијентског софтвера ArcGIS Editor, у коме су садржане многобројне ек- тензије које омогућавају напреднију обраду геопода- така;

ArcGIS Production Mapping – наменска екстензија кли- јентског софтвера ArcGIS Info намењена за карто- графско издаваштво и

ArcGIS ArcPad – софтвер намењен за рад са терен- ским подацима [6].

Велики проблем је представљао избор софтвера за 3Д рести туцију, јер се постављао услов да подаци који се генеришу са њим буду компатабилни са подацима ко- ји се стварају са већ изабраним софтвером и да буде погодан за рад у окружењу ЦГТБП. Након тестирања различитих врста софтвера за 3Д рести туцију, ВГИ се определио за софтвер фирме ERDAS, Stereo Analyst for ArcGIS. У суштини овај софтвер представља ек- тензију за софтвер фирме ESRI која унапређује Arc- GIS Editor да може да прикупља, обрађује и прегледа 3Д податке [3].

4. ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ

У информационом систему ВГИ-а (ИС ВГИ) за продукцију ДТК25 примењује се клијент-сервер архитектура, тј. мреже су сервисно оријентисане. Предности овакве архитектуре су вишеструке, а као најбитније се издвајају: централно управљање и администрирање мрежом, сервисима и клијентима, централизовано управљање политиком безбедности, лакша израда резервних копија података и др.

Од многобројних мрежних сервиса који егзистирају у ИС ВГИ-а, два сервиса (Microsoft Active Directory и Image Services) имају за продукцију ДТК25 највећу важност.

4.1. Microsoft active directory (АД)

Јавља се као неопходан сервис за потребе рада у про- дукцији ДТК25. Он функционише као централно ме- сто за похрањивање информација о идентитету кори- сника, рачунара, сервиса, служи за аутентификацију корисника и рачунара и пружа механизме помоћу ко- јих корисници и рачунари приступају мрежним ресур- сима (штампа, дељење фајлова, базе података и др). Основна улога АД је пружање целокупне Identity and Access инфраструктуре која садржи алате и техноло- гије потребне да се интегришу особе, процеси и техно- логије унутар једне организације. Најосновније функционалности АД су:

Аутентификација – Сваки корисник, рачунар или неки други дефинисани ентитет у мрежи мора прво да потврди свој идентитет АД пре него што му се омогући да функционише као део АД домена;

Контрола приступа – АД чува све податке (фајлове и фолдере, АД објекте) и ресурсе (рачунаре, принтере, сервисе...) који се налазе унутар домена, осигуравају-

ћи да је приступ ресурсима дозвољен само оним идентитетима којима ти ресурси треба да буду доступни;

Мониторинг – АД садржи алате и механизме који омогућавају надгледање, ревидирање и репортовање догађаја;

Повећана безбедност – Применом АД знатно се повећава безбедност мреже и података, јер се подаци о идентитетима и њихове лозинке чувају у централној енкриптованој бази података. Сви обични корисници имају ограничена права приступа на рачунарима и на мрежи, те им је онемогућено инсталирање нових софтвера што у великој мери спречава инсталирање вируса, црва тројанаца и др.;

Поједностављен deployment – инсталирање и деинсталирање клијентских оперативних система и апликација за целе групе униформних рачунара може се вршити са централног места и у жељеном термину;

Могућност имплементирања АД подржаних апликација – Неке апликације имају могућност имплементирања у АД, па тако и њихова администрација и управљање се интегрише у администрацију АД.

4.2. IMAGE SERVICES

Служи као најекономичније и најбоље решење за сервисирање авиоснимака, као основних улазних података, у продукцији ДТК25. У оквиру серверске компоненте ArcGIS Server 10.1 има екстензију Image, која служи за публикување сликовних сервиса као додатка за десктоп верзију софтвера или као WEB сервис. Предности имплементације сликовних сервиса се огледа у следећем:

Поједностављује управљање авиоснимцима и истовремено омогућава објављивање велике колекције снимака без предпроцесирања;

Могућност прављења мозаика авиоснимака различитих формата, пројекција, локација и резолуција;

Обрада података се одвија у реалном времену на серверу из једног извора, при чему не оптерећује клијентске рачунаре;

Публиковање посебног сервиса на нивоу метаподатака;

Простим исецањем жељеног подручја и памћењем на локални рачунар омогућено је коришћење унифицираних авиоснимака и ван рачунарске мреже.

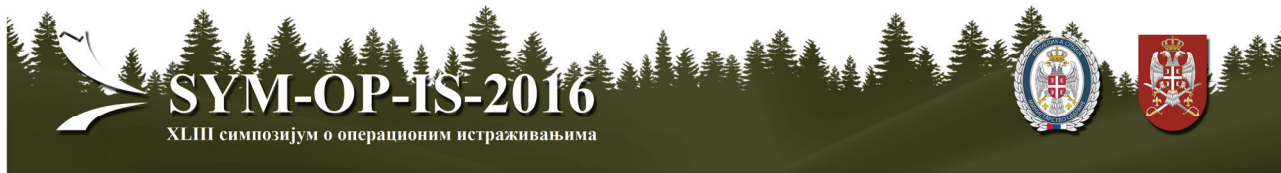
5. ЗАКЉУЧАК

Развој информатичко-телекомуникационе технологије у многome је променио начин израде топографских карата што је неминовно довело и до еволуције процеса израде ТК25 код нас. Представљени оквир технологије израде ДТК25 (у окружењу ЦГБП) има вишеструке предности у односу на класични начин израде [5]. Међу најзначајнијим предностима издвајају се: убразана израда карте, смањена могућност људске грешке у генерисању података и њиховом графичком приказивању, мања цена израде, побољшање квалитета карата, смањена могућност произвољности и недоследности у раду, лакше и брже прилагођавање захтевима корисника и сл. Применом технолошких решења у процесу израде ДТК25, омогућено је и њено публикување, поред класичне штампане форме и базе података, као WEB сервиса, који омогућава ON-LINE примену карте и њено ажурирање.

Истиче се да дати оквир није коначно и непромењиво решење, већ захтева перманентно праћење, анализу и имплементацију нових технолошких решења у будућности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Banković, R., Stojanović, M., *Principi rešavanja simbologije na digitalnoj TK25*, Oteh, Beograd, 2007, pp. 722-727.
- [2] ВГИ-а, *Упутство за извођење теренских радова*, Интерни документ, Београд, 2014.
- [3] ВГИ-б, *Упутство за 3Д реституцију*, Интерни документ, Београд, 2014.
- [4] ВГИ-ц, *Упутство за 2Д реституцију и картографску обраду*, Интерни документ, Београд, 2014.
- [5] Татомировић, С., Банковић, Р., Марковић, В., *Технолошки процес израде дигиталне топографске карте 1:25000*, Отех, Београд, 2009, pp. 748-751.
- [6] <http://www.esri.com>
- [7] <http://www.leica-geosystems.com>



УПОТРЕБА ГИС ВОЈСКЕ СРБИЈЕ У АНАЛИЗИ ПУТНЕ МРЕЖЕ

THE USE OF SERBIAN ARMY GIS FOR ROAD NETWORK ANALYSES

ДАРКО ЛУКИЋ

Војна академија, Београд, darko.lukic@va.mod.gov.rs

ЉУБОМИР ГИГОВИЋ

Војна академија, Београд, ljubomir.gigovic@mod.gov.rs

Резиме: Савремени географски информациони системи су незаобилазан алат у планирању операција Војске Србије. Њихова употреба скраћује време, а побољшава квалитет доношења одлуке. У раду је приказан начин употребе алата ГИС ВС који се користи за анализу путне мреже. Пример анализе путне мреже приказан је кроз практичну примену на дигиталној карти. У току анализе међана су својства атрибутских параметара и на основу тога добијено је више резултата. У закључку аутори су критички указали на могућности и ограничења овог софтвера и дали препоруке за његово унапређење.

Кључне речи: ГИС, Војска Србије, употреба, анализа, путна мрежа

Abstract: Modern geographical information systems are an essential tool in planning the operations of the Army of Serbia. Their use is shorten the time, and improves the quality of decision-making. The paper describes how to use the tools GIS VS used for the analysis of the road network. Example analysis of the road network is shown through practical situation on the digital map. In the case of altered properties attribute parameters and on the basis of obtained results had more analysis. In conclusion the authors have critically highlighted the possibilities and limitations of the software as well as recommendations for its improvement.

Keywords: GIS, Army of Serbia, use, analyses, road, network

1. УВОД

Географски информациони систем је савремени алат апликативне географије и налази примену у многим сферама живота, привреде и науке [1]. Географски информациони систем је постао незаобилазан софтвер приликом планирања операција у савременим војскама. Коришћење ГИС-а у савременим војскама превазилази линеарну употребу која се огледа у дистрибуцији и изради борбених докумената, већ поседује могућност за много комплексније анализе географских чинилаца.

Савремени географски информациони системи морају да одговоре различитим захтевима родова и служби војске у процесу оперативног планирања. У том смислу, ГИС подржава доношење одлука на различитим нивоима логистичког одлучивања: од одлучивања о локацијама складишта и објеката на највишем нивоу, до креирања оптималне маршруте за кретање возила на оперативном нивоу [2]. У овом раду приказана је употреба ГИС ВС и његових алата приликом анализе путне мреже кроз конкретни пример у делу геопростора Републике Србије.

2. АНАЛИЗА ПУТНЕ МРЕЖЕ ЗА ВОЈНЕ ПОТРЕБЕ

Способност транспорта снага и покретних средстава до било које тачке у зони операције је од суштинског значаја за војну моћ Копнене војске и често одлучује о исходу борбених операција. Тачна информација о могућности употребе комуникацијске инфраструктуре је један од фундаменталних захтева у процесу доношења одлуке [3]. Успешност маневра зависи од адекватног избора линија комуникације у зони операције, а планови за транспорт зависе од адекватности обавештајних података који се односе на планиране маршруте [4].

Карте представљају основни извор информација о терену. Поузданост карата одређује квалитет и садржај података које је коришћен за њихову израду [4]. Систем војногеографске категоризације путева је намењен као помоћ при планирању и извођењу кретања војних јединица и опреме. Категоризација пута треба да пружи следеће основне стандардизоване информације: ширина пута, тип пута, најнижу класификацију војног терета, нагибну проходност, препреке за ток саобраћаја и специјалне услове на путу [4].

Од посебног значаја за анализу путева су препреке. Препреке на путу су фактори који ограничавају тип, обим или брзину тока саобраћаја [4]. Под препрекама се подразумевају:

- Надземни комуникацијски објекти (мостови, тунели, подвожњаци, избочене зграде и сл.)
- Смањење ширине коловоза које је испод стандардног минимума за прописани тип саобраћаја (уске саобраћајнице, насељено место, одрони, пролази у мински пољима и сл.)
- Нагиби од 7% и више
- Кривине полупречника 25 m и мање
- Речни газови и скелска места прелаза

3. ГИС ВОЈСКЕ СРБИЈЕ

ГИС Војске Србије је модулarna софтверска платформа намењена за имплементацију наменских алата и функција над просторним подацима. Она омогућава:

- Просторну подршку у процесу одлучивања на свим нивоима командовања у свим мисијама Војске Србије путем геопросторних анализа и визуелизације оперативног окружења применом војне симбологије и дигиталног геотопографског материјала
- Прикупљање, складиштење, анализа, обрада, визуелизација и размена просторних обавештајних података
- Процес обавештајне припреме бојишта (анализа терена)

Могућности ГИС ВС огледају се у примени разноврсних алата за анализе простора. Алат "најкраћи пут" омогућава на једноставан и брз начин анализе путне мреже. Функционалности алата су следеће:

- Проналажење најкраћег пута између две или више тачака
- Избор пута на основу категоризације (тип, ширина, специјални услови и др.)
- Избор пута на основу нагиба земљишта
- Избор пута на основу удаљености од дефинисаног путног чвора
- Унос непроходних тачака
- Приказ дужине најкраћег пута

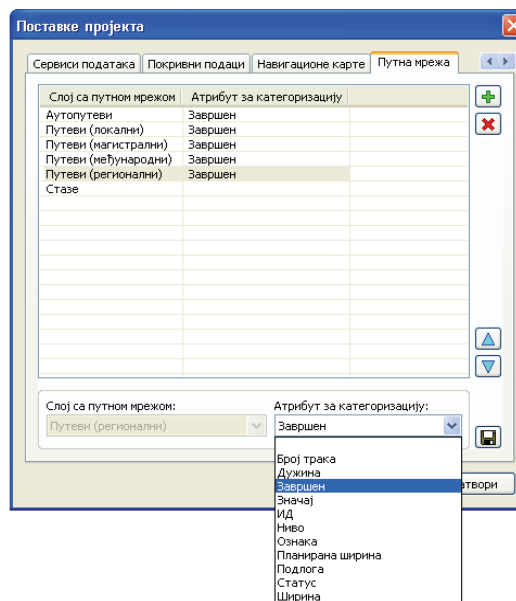
4. ПРИМЕР АНАЛИЗЕ НАЈКРАЋЕГ ПУТА

Анализа најкраћег пута обавља се у више међусобно повезаних корака. За анализу одабран је део геопростора планине Космај са својом ближом околином. За полазну тачку одабрано је насеље Кораћица лоцирано у Општини Младеновац. За крајњу тачку одабрано је насеље Раља које припада Општини Сопот.

У првом припремном кораку неопходно је извршити унос векторских слојева са путном мрежом у картици "путна мрежа", која се налази у прозору "поставке пројекта"

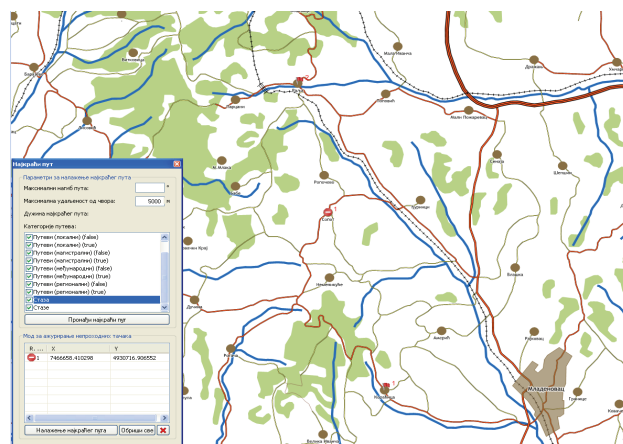
Након уноса векторских слојева потребно је изабрати атрибуте категоризације. Атрибути се бирају на основу дефинисаних својства објеката потхрањених у

атрибут табели (ширина пута, тип, број трак и сл.). У нашем случају у картицу "путна мрежа" унете су све постојеће категорије пута са атрибутом "завршено" (слика 1).



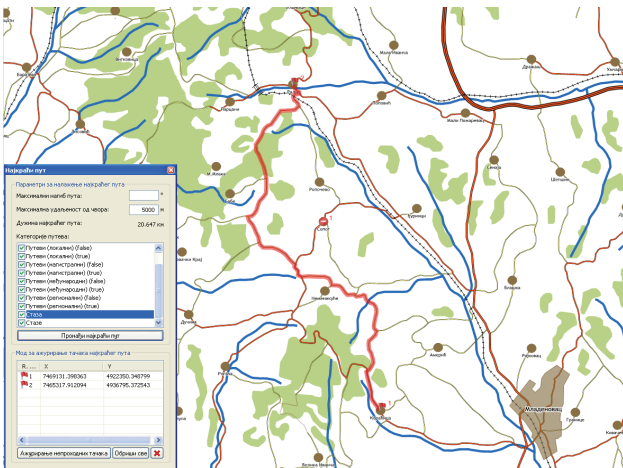
Слика 1: Дефинисање слојева и атрибута

У следећем кораку у алату "најкраћи пут" неопходно је изабрати претходно дефинисане путеве у прозору "категоризација путева". Након тога врши се избор полазне и крајње тачке и избор непроходних тачака. У првом примеру селектоване су све категорије путева. За удаљност од чвора изабрана је величина 5000 m. Непроходна тачка постављена је у насељу Сопот (слика 2). Уношењем више од две маркерне тачке могуће је ограничити избор најкраћег пута на само оне комуникације које међусобно повезују дефинисане маркерне тачке.



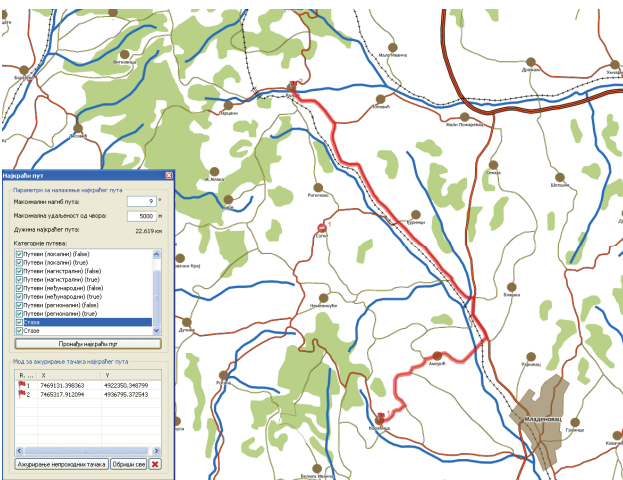
Слика 2: Уношење циљева и ограничења

Након активирања опције "пронаћи пут" алат логички процесира изабране геопросторне параметре и на нумерички и графички начин приказује резултат анализе. Алат као резултат приказује дужину најкраћег пута, у нашем случају 20,64 km, а визуелно исцртава визуелно уочљиву црвену линију између почетне и крајње тачке (слика 3).



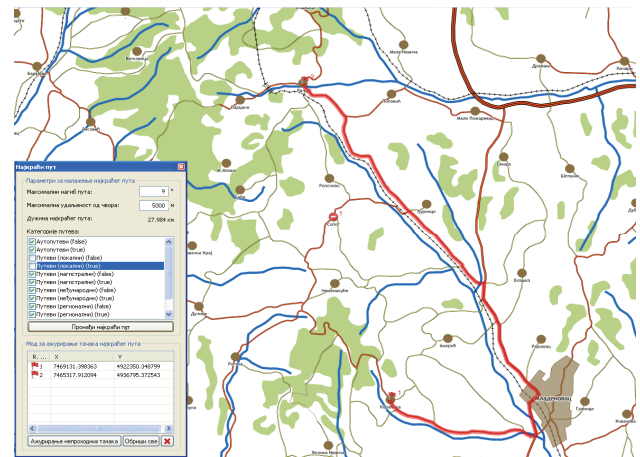
Слика 3: Резултат прве анализе најкраћег пута

У следећој анализи дефинисали смо да нагиб пута буде ограничен до 9° (слика 4). Нагиб се генерише на основу дигиталног модела висина (ДЕМ) потхрањеног у основним поставкама пројекта. У случају немогућности избора пута са захтеваним нагибом, алат ће као резултат приказати обавештење да "пут није пронађен". У том случају неопходно је изменити вредност нагиба, или дефинисати још додатних маркирних тачака при чему ће алат лоцирати само оне деонице између тачака које поседују тражену вредност нагиба. Резултат дужине најкраћег пута у овом случају износу 22, 61 km.



Слика 4: Резултат друге анализе најкраћег пута

У последњем примеру, као ново ограничење захтевано је да се у анализи путне мреже искључи употреба свих локалних путева. Као нов резултат претраге за најкраћим путем добија се тражена комуникација у дужини од 27,98 km, на нагибу земљишта ограниченом до 9° , а која истовремено заобилази насеље Сопот (слика 5). Дефинисањем нових атрибутских података категоризације у припремном кораку, могуће је добити много комплекснију анализу најкраћег пута која се заснива на различитим атрибутима као што су ширина пута, квалитет, број трака и сл.



Слика 5: Резултат треће анализе најкраћег пута

5. ЗАКЉУЧАК

У циљу одређивања анализе путне мреже примењен је софтвер ГИС ВС и његов алат "најкраћи пут". ГИС ВС представља битан корак у осавремењавању Војске Србије и подизању њених оперативних способности. ГИС ВС и његове алате одликује једноставност у употреби као и функционална прилагођеност вршењу анализа за потребе мисија и задатака Војске Србије.

Аутори рада сматрају да је приказани софтверски алат ефикасан, али не и такав да би резултати анализе били у потпуности применљиви у реалним условима. Доношење коначне одлуке у борбеним ситуацијама захтева предузимање додатних мера, пре свега извиђање конкретне саобраћајнице. Стога примена ГИС ВС у анализи путне мреже имаће најзначајнију улогу у почетним фазама планирања и извођења операција као и у мирнодопским условима. Алат "најкраћи пут" је неопходно даље унапређивати пре свега кроз израду новог ДТМ и ажурирањем постојећих атрибутских података. Неопходна је и даља софтверска надоградња алата "најкраћи пут" са новим функционалним решењима. До предузимања ових корака, неопходно је стално опитовање ГИС ВС и његових алата у пракси, чиме ће се донети исправни закључци о стварним употребним могућностима и ограничењима овог софтвера.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гиговић, Љ., Географски информациони системи, Медија центар Одбрана, Београд, 2014.
- [2] Miljuš, M., Radivojević, G., "Uloga geografskog informacionog sistema u logistici fazi sistem za projektovanje ruta vozila", Međunarodni časopis transport i logistika, 11 (2006) 14-31.
- [3] Obafemi, A.A.; Eludoyin, O.S., Opara, D.R., "Road network assessment in trans-amadi, port harcourt in nigeria using gis", International Journal for Traffic and Transport Engineering, 1(4) (2011) 257 – 264.
- [4] Federalno ministarstvo odbrane BiH, Izvidanje ruta i klasifikacija, TP 5-36, Federacija BiH, 2000.



ПРИМЕНА ОДЛУЧИВАЊА У ГИС УСЛУГАМА

DECISION-MAKING APPLIANCE IN GIS SERVICES

ДЕЈАН Р. ЂОРЂЕВИЋ

Војногеографски институт, Београд, dejan.r.djordjevic@vs.rs

ЗЛАТАН МИЛОЊИЋ

Војногеографски институт, Београд, zlatan.milonjic@vs.rs

Резиме: У складу са растућим трендовима у области информација, остварује се и значајан развој организација које се баве услугама у области информационих технологија. Основни циљ којем се тежи јесте пружање квалитетних ГИС услуга у складу са захтевима купаца и у оквиру уговорених услова. С обзиром на појаву многих фактора који утичу на пословање, организације морају да мењају сопствене пословне моделе и да креирају нове како би остале конкурентне на тржишту. Сходно томе, потребно је разумети и прихватити нове технолошке изазове и могућности географских информационих система, а пре свега интернета као медијум за комуникацију, дистрибуцију и приказ геопросторне стварности. Пред креаторе ГИС услуге постављају се многе дилеме. Геопросторни подаци организовани и систематизовани у оквиру ГИС пружају многе могућности. То омогућава велики избор решења, односно богатство решења, али погрешан избор може упропастити сав труд. У овом раду приказани су основни принципи управљања ГИС услугама. Поред тога, у раду су приказане специфичности ГИС услуга у процесу одлучивања, као и одређени аспекти одлучивања у ГИС услугама.

Кључне речи: одлучивање, ГИС услуга, географски информациони систем, ИТ услуга.

Abstract: In accordance with the growing information trends there have been raising significant development of organizations providing information technology services. The main aspiring goal is providing quality GIS services in accordance with customer requirements and within agreed terms. Considering occurrence of many factors that affect the business, organizations have to adjust their business models and create new ones in order to remain competitive in the market. Accordingly, there is a need to realize and accept new technological challenges and opportunities of geographic information systems, especially internet as a medium for communication, distribution and representation of geospatial reality. Creators of GIS services are faced many dilemmas. Geospatial data organized and systematized in a GIS framework provide many opportunities. That enables many solutions, but fallacious selection could ruin complete effort. In this paper are presented principal concepts of GIS services management. Nevertheless, in this paper are presented specificities of GIS services in decision-making process, as well as certain aspects of GIS services decision-making.

Keywords: decision-making, GIS service, geographic information system, IT service.

1. УВОД

У данашње време геопросторни подаци се углавном сакупљају, архивирају, обрађују, анализирају и презентују у дигиталној форми. То је последица великих промена које су настале развојем рачунара, дигиталне картографије и географских информационих система (ГИС). Поред тога управљање било којим процесом, предузећем, пројектом или услугама одвија се доношењем одговарајућих одлука. Управљање ГИС услугама неминовно прати процес одлучивања.

2. ПРИНЦИПИ УПРАВЉАЊА ГИС УСЛУГАМА

С обзиром на све већу примену географских информационих система и уопште значаја информационих технологија (енг. *Information Technology* – у даљем тексту: *ИТ*) у свакодневном животу, у организацијама област управљања (менаџмента) постаје све више предмет интересовања, унапређења и анализе. Основни циљ којем се тежи јесте пружање квалитетних услуга у складу са захтевима купаца и у оквиру уговорених услова. На те захтеве се надовезују и захтеви који су дефинисани кроз низ одговарајућих стандарда који интегришу најбољу светску пословну праксу. Наручиоци (купци) све чешће захтевају да организације поседују адекватне сертификате и да примењују стан-

дарде као гаранцију да су у стању да испуне уговорене обавезе.

Управљање ГИС услугом

Узимајући у обзир наведену чињеницу, као и да је све чешћи услов за добијање посла у области ГИС услуга примена стандарда, организације се одлучују на примену стандарда и добијање сертификата од стране сертификационих тела чиме се верификује да су процеси организације, радна пракса и услуге усаглашени са захтевима стандарда. Сертификат организацији пружа кредибилитет на тржишту као и доказ о посвећености, преиспитавању и константном унапређењу свог рада. Управљање ГИС услугом можемо посматрати као једном од врста *IT* услуга. Управљање *IT* услугом (енг. *Information Technology Service Management – ITSM*) представља управљање свим међусобно повезаним процесима у циљу обезбеђења квалитета услуге у складу са договореним нивоима услуге са купцем. С тим у вези, стандардни елементи за већину дефиниција управљања *IT* услугом, а самим тим и управљање ГИС услугом, укључују следеће:

- Опис неопходних процеса ради испоруке и подршке ГИС услуге купцу,
- Примарну сврху испоруке и подршке услуга или технологије потребне пословању организације у циљу испуњења постављених циљева,
- Дефиницију улога и одговорности свих који су укључени (ГИС особље, купци и друге заинтересоване стране),
- Управљање екстерним добављачима (партнерима) који су укључени у испоруку и подршку технологије и услуга које испоручује и подржава ГИС сектор.

Појам услуге

Човек се, као део друштва, свакодневно сусреће са разним услугама. Услед развоја технологије и велике конкуренције на тржишту, корисници постају захтевнији тражећи услужну вредност, комплетна решења и искуства за памћење. Разлика између производа и услуга се може представити следећим карактеристикама:

- Услуге су неопипљиве; квалитет производа се може одредити на основу техничких спецификација, док се квалитет услуга често одређује на основу субјективних мерила корисника. Корисник може само да поседује одређену робу, док се за услуге везују само сећања и позитивна или негативна искуства. С обзиром да су услуге неопипљиве, то их чини доступним конкуренцији која увек може да их преузме и прекопира, јер услуге не могу бити законски патентирани;
- Услуге се производе и конзумирају симултано, за разлику од производа који се прво производи, затим купује и конзумира. Такође, многе услуге се морају пружити када то погодује кориснику, тако да се услуге не могу складиштити, инвентарисати

или контролисати пре него што дођу у контакт са корисником, као што је случај са производима;

- Корисници су често присутни, чак и укључени у процес пружања услуга, док се производња роба одвија далеко од очију корисника;
- Услуге су хетерогене (варијабилне) – пружање услуга је радно интензивно (изражено је дејство људског фактора на квалитет и квантитет), док производња захтева и улагање капитала;
- Услуге ишчезавају – опипљиви резултати производње производа трају дуго, док од услуге остају само сећање и последице;
- С обзиром да квалитет услуга најчешће зависи од оног ко их пружа, услуге су често неконзистентног квалитета.

Услуга представља низ активности које су дизајниране у циљу побољшања нивоа задовољства купаца. Услуга је чин који се одвија у директном контакту између корисника и представника компаније која пружа услугу. Према томе, услуге су економске активности које креирају додатну вредност и пружају корист за купце у одређено време и на одређеном месту као резултат обављања жељене промене на (или у корист) примаоца услуге.

3. КОМПОНЕНТЕ ГИС УСЛУГЕ

Појам „услуга“ је суштински ентитет управљања *GIS* услугом. Према *ITIL® V3 (ITIL – Information Technology Infrastructure Library)*, услуга представља средство за испоруку вредности купцима омогућавајући задовољење потреба купаца без поседовања специфичних трошкова и ризика. У вези са тим свака *IT* услуга, а самим тим и *GIS* услуга представља излаз (*output*) интерне или екстерне информационе организације а не исход пословања где реална вредност настаје заједно са услугом. У том смислу, *GIS* услуга се може описати као скуп повезаних елемената који заједно сачињавају услугу и обезбеђују потенцијалну вредност за купца у смислу доступности тражених и на посебан начин организованих геопросторних информација. У смислу техничке композиције, свака *IT* услуга представља подржан информациони систем који се испоручује купцу у складу са договореним квалитетом (Поповић, et al) [8]. У вези са тим техничку композицију чине *GIS* услуге чине три елемента:

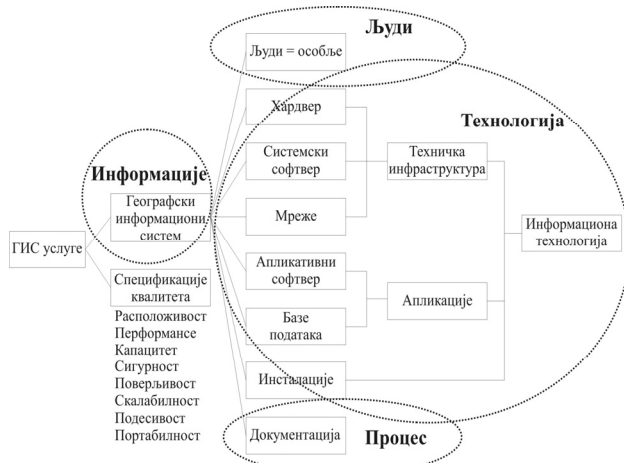
- географски информациони систем,
- подршка и
- спецификације квалитета.

Географски информациони систем

Најопштије посматрано, *GIS* представља „организован скуп рачунарског хардвера, софтвера, података, особља и мрежа ради ефикасног прикупљања, складиштења, ажурирања, руковања, анализе, моделовања, преноса и приказа свих облика просторних информација (Јовановић et al, 2012)“ [6]. Посматрајући *GIS* као један од информационих система он представља систем за обраду кохерентних података у циљу контроле или подршке геоинформација за један или више

процеса пословања (Jan Van Bon et al, 2008) [3]. ГИС се даље може рашчланити на *људе*, *процесе* и *технологију* који се могу користити заједно са *партнерима* у циљу управљања *геоинформацијама*.

На Слици 1 сликовито можемо видети однос ГИС услуге и њених елемената као што су географски информациони систем, спецификација квалитета и подршке (људи, технологије, процеси). Људи, као део ГИС услуге, представљају стручњаке који треба да обезбеде да ГИС функционише у складу са захтевима. Процеси су документовани у описима процеса.



Слика 1: Елементи ГИС услуге

Подршка

Други важан елемент у контексту ГИС услуга је *подршка*. Географски информациони систем мора бити подржан како би се обезбедило његово функционисање у складу са договореним захтевима. Подршка укључује елемент *одржавања* што подразумева поново успостављање ГИС услуге уколико дође до поремећаја, прилагођавање ГИС услуге захтевима и жељама купца, као и испоруку употребљиве ГИС услуге.

Спецификације квалитета

ГИС се испоручује према договору који је постигнут са купцем. То значи да се атрибути квалитета требају специфицирати и уговорити. Спецификације квалитета услуге могу се одабрати у односу на купца или на вршиоца услуге, при чему се могу издвојити следећи заједнички атрибути који су највише прихваћени:

- Распоживост ГИС је први од најважнијих атрибута квалитета услуге који подразумева расположивост ГИС за корисника у договорено време и на договореном месту;
- Капацитет, као други атрибут, указује на количину карактеристика (на пример, обим геопросторне базе података, смештајни капацитет диска, капацитет обраде централне процесорске јединице, итд.);
- Брзина обраде и анализа геоинформација;
- Поверљивост и сигурност;
- Усклађеност, уједначеност и сразмерност свих компоненти ГИС-а;

- Подесивост ГИС-а, што подразумева да извршилац или носилац ГИС услуга треба да одабере сопствене методе развоја, архитектуру инфраструктуре и све остало што би могло да подржи подесивост ГИС.

4. ОДЛУЧИВАЊЕ У ГИС УСЛУГАМА

У оквиру сваког од претходно наведених елемената ГИС услуге постоје дилеме у избору техничке композиције ГИС услуге. У принципу, избор између дилема или одређених решења ономе ко креира, у овом случају ГИС услугу, подразумева доношење низа одлука. Значи, у сваком од елемената техничке композиције ГИС услуге постоји избор између две или више алтернатива. Анализирајући бројне дефиниције и појмовна одређења *одлучивања*, аутори Чупић и Сукновић (Чупић, Сукновић, 2010) [10] примећују да је „кључни елемент одлучивања избор, а избор претходи свим акцијама пак, указује да без обзира што у математичкој теорији одлучивања постоје прецизне и тачне дефиниције, одлучивање се заиста може дефинисати као избор између одређеног броја алтернатива“. Укратко, према истим ауторима (Чупић, Сукновић, 2010) [10], „одлучивање је избор једне, из скупа могућих алтернатива (акција) при чему у скупу морају постојати најмање две алтернативе“. Из наведеног, сасвим је јасно да управљање ГИС услугама подразумева и одлучивање. У том процесу одлуке се доносе на различитим нивоима управљања, од стратешког до оперативног одлучивања. У циљу успостављања добрих односа између свих заинтересованих страна, морају се направити јасни споразуми. Такође, важно је идентификовати све заинтересоване стране, одговарајућа средства комуникације и учесталост извештавања.

На Слици 2 приказан је систем управљања ГИС услугама из којих се могу увидети више нивоа хијерархије у којима је неопходно да се доносе одлуке. На вишим нивоима одлучивања, руководећи менаџери доносе одлуку о вршењу услуге, али и пре тога доношењем одлука које обезбеђују пословно окружење, смањују негативне утицаје и ризике, уврћују приоритете, контролне механизме и слично. С обзиром на карактеристике ГИС-а, свакако највећи број одлука доноси се на оперативном нивоу, тј. у „техничкој сфери чиме се обезбеђује основа за реализацију обавеза и примена иницираних на вишим нивоима одлучивања“ (Чупић, Сукновић, 2010) [10]. На основу дугогодишњег рада са географским информационим системима, пре свега у оквиру Војногеографског института, аутори Борисов и Банковић (Борисов, Банковић, 2011) [5],



Слика 2: Систем управљања ГИС услугама

ГИС посматрају као рачунарски подржан систем који има своје компоненте и могућности рада са подацима о простору, и то:

- улаз (прикупљање) података о простору;
- представљање података о простору;
- управљање подацима у бази;
- анализа података о простору на основу урађених аналитичких модела;
- излаз (приказивање) података о простору.

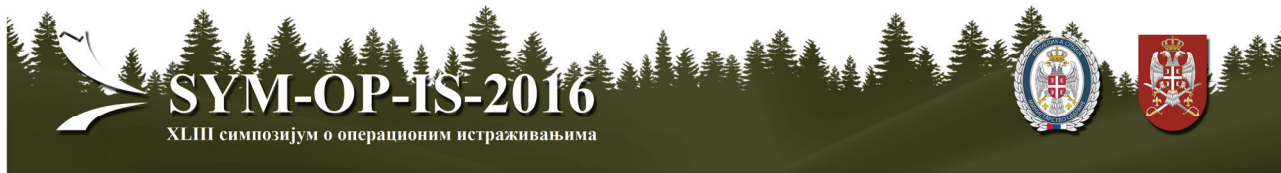
У свим овим процесима на свим нивоима одлучивања могу се применити многе методе одлучивања, као што су методе вишекритеријумског одлучивања, вишеатрибутивног одлучивања, вишециљног одлучивања или методе вишекритеријумске анализе. У многим од ових процеса готово свакодневно се примењују и методе групног одлучивања. Сматра се да данас постоји велики број квалитетних метода које могу да помогну у процесу одлучивања. Исто тако, ради добијања квалитетне ГИС услуге мора се наћи довољно времена за доношење одређене одлуке на научним основама. То подразумева примену фаза процеса одлучивања, почев од евидентирања, рангирања и дефинисања проблема, сакупљања чињеница, предвиђања будућности, формирања модела, решавања проблема – модела одговарајућим методама и техникама, вредновања резултата и на основу претходног доношење одлуке (Чупић, Сукновић, 2010) [10]. За процес одлучивања у ГИС услугама посебно је важно пажљиво применити моделирање. Моделирање, као метод научног истраживања, представља одређени начин мисаоног или материјалног приближног приказивања оригинала (Јовановић, 2007) [7]. Неке од основних дилема које се моделовањем ГИС услуга могу приближити квалитетној одлуци су избор основне размере, односно резолуције приказа за коју се подаци прикупљају чиме се одређује ниво детаљности података. То је такозвани аспект примене ГИС кроз мултиразмерност. Други битни аспекти које се могу за потребе ГИС услуге моделирањем припремити за квалитетне одлуке су проблеми мултитематике што подразумева избор различитог приказа тема на карти или мултипrikaза што подразумева избор приказа геотопографских информација или података.

5. ЗАКЉУЧАК

Примена информационих технологија увећала је тржиште информација до неслућених размера и непрекидно га увећава, како на страни корисника, тако и на страни пружања ГИС услуга. Сходно томе, од изузетне важности је познавање квалитета тих информација, како би корисници могли одабрати баш онај сет ГИС услуга који ће сигурно задовољити њихове потребе. Захваљујући ери глобалне комуникације, омогућена је већа доступност информацијама, односно геопросторним подацима, што омогућава њихову већу употребну вредност и дистрибуцију. Поред тога, савремени приступ проблему избора између више решења подразумева примену познатих метода одлучивања од најнижег, оперативног нивоа на коме се решавају техничка свакодневна питања до стратегијских на нивоу организације вршиоца услуге. У процесу одлучивања пружања ГИС услуге доносилац одлуке стоји иза сваког решења, али треба тако водити процес одлучивања да се одлуке применом савремених метода одлучивања саме намећу. За доношење одлуке приликом пружања ГИС услуге подједнако је важно познавати компоненте ГИС-а, елементе ГИС услуга и метода одлучивања које могу бити примењене у решавању проблема или у избору решења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] , P., Goodchild M., D., Rhind D.: *Geographic Information Systems and Science (third edition)*, Hoboken, NJ, Wiley, 2011.
- [2] Jan Van Bon: *The Guide to IT Service Management*, Addison Wesley, 2002.
- [3] Jan Van Bon, Selma Polter, Tienneke Verheijen.: *ISO/IEC 20000 – An Introduction*, Series Best Practice, Van Haren Publishing, Zaltbommel, 2008.
- [4] ISO_IEC_20000-1_2011(E)-Character
- [5] Борисов, М, Банковић, Р.: *Примена ГИС са аспекта мултифункционалности*, Војнотехнички гласник, Београд, 2011.
- [6] Јовановић, В., Ђурђев, Б., Срдић, З., Станков, У.: *Географски информациони системи*, Универзитет у Новом Саду, Београд, 2012.
- [7] Јовановић, П: *Менаџмент, теорија и пракса*, Висока школа за пројектни менаџмент, Београд, 2007.
- [8] Поповић, П, Ковачевић, Љ, Граховац, Ј.: *„Информационе технологије и захтеви најновијих стандарда система менаџмента“*, XIV YU INFO 2008, CD Зборник радова, Копаоник, март 2008.
- [9] Сукновић, М., Делибашић, Б.: *Пословна интелигенција и системи за подршку одлучивању*, Факултет организационих наука, Београд, 2010.
- [10] Чупић, М., Сукновић, М: *Одлучивање*, Факултет организационих наука, Београд, 2010.



АНАЛИЗА УНУТРАШЊЕ ПОУЗДАНОСТИ ОСНОВНЕ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ

ANALYSIS OF INTERNAL RELIABILITY OF BASIC GEODETIC NETWORK

ДРАГОЉУБ СЕКУЛОВИЋ

Универзитет одбране, Војна академија, Павла Јуришића Штурма 33, Београд, sekulovicdr@yahoo.co.uk

МЛАДЕН ЂУРИЋ

Републичка управа за геодетске и имовинско-правне послове Бања Лука, ПЈ Модрича, стручни консултант,

djomla.dj@gmail.com

ДЕЈАН ВАСИЋ

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Бања Лука, Универзитет у Бањој Луци, vasked90@gmail.com

Резиме: Приликом пројектовања геодетских мрежа, значајну фазу представља тестирање квалитета геометријског облика мреже. У критеријуме квалитета геометријског облика мреже убрајају се прецизност, поузданост и осетљивост. У овој фази пројектовања утврђује се да ли геодетска мрежа испуњава постављене критеријуме у погледу квалитета геометрије. У раду је приказана анализа унутрашње поузданости основне геодетске мреже.

Кључне речи: основна геодетска мрежа, критеријуми поузданости, локална мера унутрашње поузданости.

Abstract: The design of geodetic networks, represents a significant phase of testing the quality of the geometric shape of the network. The quality criteria of the geometric shape of the network include precision, reliability and sensitivity. At this stage the design is determined whether geodetic network meets the criteria in terms of quality geometry. This paper presents an analysis of the internal reliability of the basic geodetic network.

Keywords: basic geodetic network, the criteria of reliability, a local measure of internal reliability.

1. УВОД

Појам унутрашње поузданости геодетске мреже полази од претпоставке да је свако опажање подложно грубој грешци, али да та груба грешка није у свим опажањима подједнако препознатљива. Функција у закону унутрашње поузданости односи се на меру проверљивости. С обзиром да оцењивање мере проверљивости у једној мрежи не представља ништа друго до оцењивања њене геометрије, функција представља утицај геометрије мреже на унутрашњу поузданост.

Показатељи квалитета геодетских мрежа изражавају се кроз:

- прецизност,
- поузданост и
- осетљивост.

Мере прецизности, као показатељ квалитета геодетских мрежа, пре свега, дају информацију о присуству и утицају случајних грешака резултата опажања. У критеријуме прецизности који се најчешће усвајају као пројектни параметри убрајају се:

- оцене дисперзија оцењивих функција,
- елипсе грешака положаја тачака и

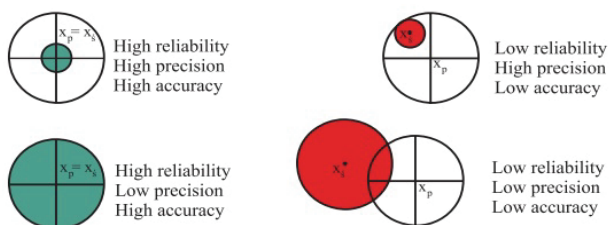
- стандардне грешке положаја тачака.

Поузданост дефинише квалитет примењеног модела с обзиром на могућност откривања грубих и систематских грешака у резултатима опажања и с обзиром на деловање неоткривених грубих и систематских грешака на оцене тражених величина. Разликују се унутрашња и спољашња поузданост. Осетљивост појединог опажања односи се на утицај тог опажања на оцену непознатих параметара и уско је везана са поузданошћу.

Често се као додатни критеријум појављује и економичност која се огледа у начину стабилизације тачака, оптимизацији броја мерених величина и слично.

2. ОСНОВНА ГЕОДЕТСКА МРЕЖА

О квалитету геодетске мреже може се судити ако се интегрално посматрају критеријуми прецизности и поузданости, који заједно чине критеријуме тачности (Слика 1). Код неслободних геодетских мрежа све функције су оцењиве. У том случају, дисперзија било које функције може служити као мера квалитета мреже, док код слободних геодетских мрежа то није случај.



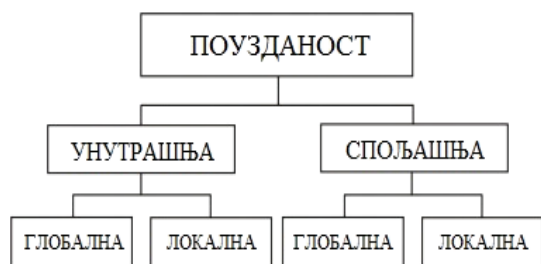
Слика 1. Однос поузданости, прецизности и тачности [1]

Математичка дефиниција геодетске мреже гласи: „Скуп геодетских тачака/репера, датих и тражених, са скупом L_1, L_2, \dots, L_n мерених величина, које могу бити и разнородне, назваћемо геодетском мрежом, ако између ових n мерених величина можемо наћи q ($q \leq u \leq n$) независних – које ћемо назвати неопходним, таквих да било који елемент (величину) у мрежи, чија врста припада врсти мерених величина, можемо изразити помоћу тих q неопходних величина“. Бројем u означен је број тражених-непознатих величина у мрежи [2].

На основу овога, произилази да се геодетском мрежом не може сматрати било која геометријска констелација геодетских тачака, него само она код које се све непознате величине у мрежи могу изразити у функцији мерених величина. Геодетска мрежа објекта састоји се од основне геодетске мреже коју чине тачке изван објекта и мреже контролних тачака коју чине тачке на објекту.

3. КРИТЕРИЈУМИ ПОУЗДАНОСТИ ГЕОДЕТСКИХ МРЕЖА

Поред прецизности, поузданост представља најважнији критеријум геодетске мреже. Поузданост се дели на унутрашњу и спољашњу, а свака од њих разликује локалне и глобалне мере (Слика 2). Унутрашња поузданост односи се на могућност откривања и лоцирања неоткривених грубих грешака у резултатима опажања. Спољашња поузданост односи се на анализу утицаја неоткривених грубих грешака на оцену непознатих параметара и њихове функције.



Слика 2. Поузданост геодетских мрежа [3]

Уопштено посматрано, поузданост геодетских операција захтева [3]:

- оспособљене, одговорне и пажљиве планере и реализаторе геодетских мерења;
- прецизне и самоконтролишуће инструменте који не приказују резултате уколико су они непоуздани (на

пример, када су временски услови или напон батерија критични);

- процедуре мерења које обезбеђују контролу над грубим и, када је то могуће, систематским грешкама (на пример: мерења напред-назад, затворени полиго-ни, два положаја дурбина, и слично), и
- одговарајући дизајн мреже у којем се опажања међусобно контролишу.

Поузданост мреже може се контролисати кроз различите фазе успоставе мреже [4]. Пре мерења испитује се мерни инструмент и прибор, па се евентуална системска одступања моделују и уводе као корекције резултата мерења. Током мерења, кроз критеријуме за праћење и контролу мерења, могуће је контролисати појаву грубих грешака. За откривање грубих грешака у резултатима опажања након реализованих мерења користе се различите методе контроле, као што су контрола затварања фигура, разлика двоструких мерења и слично. Након поступка изравнања, користе се статистичке методе откривања преосталих грубих грешака у резултатима опажања, чији се утицај одражава и на остала опажања.

4. ЛОКАЛНА МЕРА УНУТРАШЊЕ ПОУЗДАНОСТИ

Утицај појединог опажања, а самим тим и његове грешке, на вектор поправака остварује се преко матрице \mathbf{R} (engl. *redundancy matrix*):

$$\mathbf{R} = \mathbf{Q}_{vv} \mathbf{Q}_{nn}^{-1} = (\mathbf{Q}_{nn} - \mathbf{Q}_{nn}^{-1}) \mathbf{Q}_{nn}^{-1} = \mathbf{I} - \mathbf{Q}_{nn}^{-1} \mathbf{Q}_{nn}^{-1} \quad (1)$$

где је:

- \mathbf{Q}_{vv} - кофакторска матрица поправака резултата опажања,
- \mathbf{Q}_{nn} - кофакторска матрица резултата опажања, и
- $\mathbf{Q}_{nn}^{-1} = \mathbf{P}$ - матрица тежина.
- Матрица \mathbf{R} има следећа својства [4]:
- матрица је сингуларна ($\det \mathbf{R} = 0$),
- матрица је идемпотентна,
- дијагонални чланови матрице имају вредности између 0 и 1 ($0 \leq r_{ii} \leq 1$), и
- траг матрице једнак је броју прекобројних мерења - броју степени слободe: ($\text{tr} \mathbf{R} = \sum r_{ii} = n - u + d = f$).

Елементи на главној дијагонали матрице \mathbf{R} називају се коефицијентима прекобројних мерења r_{ii} (engl. *observational redundancy number*) и представљају допринос појединог опажања укупној редуваности мреже [5]. Типичне вредности локалне мере унутрашње поузданости разликују се према врсти геодетске мреже (Табела 1).

Табела 1. Типичне вредности локалне мере унутрашње поузданости према врсти мреже [6]

Врста мреже	Типичне вредности r_{ii}
Полигонска	0.1-0.2

Трилатерациона	0.3-0.6
Комбинована	0.5-0.8
Нивелманска	0.2-0.5

Коефицијенти прекобројних мерења омогућавају процену у којој мери је геометрија мреже способна да искаже утицај грубих грешака на резултате мерења. Вредност појединог коефицијента показује који је постотак утицаја неоткривене грубе грешке садржан у резидуалу појединог опажања. Својство добро пројектоване мреже је да су вредности коефицијената локалне мере унутрашње поузданости што већи (ближи вредности 1). Вредности локалне мере унутрашње поузданости су независне од избора датума мреже.

У случају када су коефицијенти r_{ii} равномерно расподељени у мрежи, као глобална мере унутрашње поузданости користи се средња вредност ових коефицијената:

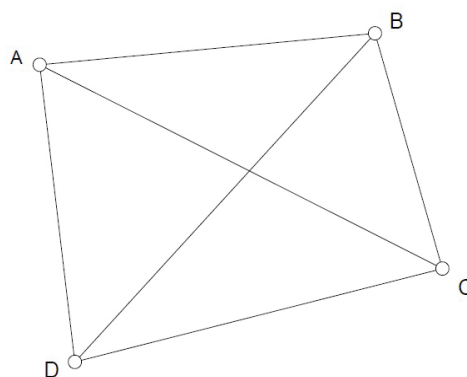
$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad (2)$$

5. АНАЛИЗА ПОУЗДАНОСТИ ГЕОДЕТСКЕ МРЕЖЕ

За потребе овог примера, развијена је геодетска мрежа коју чине четири тачке (Слика 3). На основу пројектованог плана опажања, односно избора врсте и броја мерених величина, извршено је посредно изравнање мреже по методи најмањих квадрата, применом Гаус-Марковљевог модела [7]. Основни подаци о мрежи дати су у Табели 2. Вредности локалне мере унутрашње поузданости дати су у Табели 3, а расподела њихових вредности на Слици 4.

Табела 2. Подаци о основној геодетској мрежи

Број тачака мреже	4	
Начин дефинисања датума мреже	Минимални траг на свим тачакама мреже	
Број мерених величина	Праваца	12.0
	Дужина	6.0
Број непознатих параметара	12.0	
Дефект мреже	3.0	
Број степени слободe	9.0	
σ_0	1.0	
$\hat{\sigma}_0$	0.14	
Глобални тест адекватности модела	T	0.02
	F	1.88



Слика 3. Геодетска мрежа

Табела 3. Вредности локалне и глобалне мере унутрашње поузданости геодетске мреже за усвојени план опажања

r_{ii}	0.474	r_{AB}
	0.374	r_{AC}
	0.480	r_{AD}
	0.442	r_{BA}
	0.353	r_{BD}
	0.512	r_{BC}
	0.416	r_{CD}
	0.374	r_{CA}
	0.545	r_{CB}
	0.432	r_{DC}
	0.400	r_{DB}
	0.498	r_{DA}
	0.581	d_{AB}
	0.707	d_{AC}
	0.564	d_{AD}
	0.562	d_{CD}
	0.707	d_{CA}
	0.578	d_{CB}
$\sum_{i=1}^n r_i$	9.000	
\bar{r}	0.500	



Слика 4. Расподела вредности локалне мере унутрашње поузданости

Анализом вредности локалне мере унутрашње поузданости могуће је утврдити слаба места у мрежи, од-

носно опажања која би могла садржати грубу грешку. Најмању вредност локалне мере унутрашње поузданости, односно допринос укупној редуваности, има правац P_{BD} и износи 0.353. На основу тога, може се закључити да је 35.3% грешке опажања овог правца садржано у њеном резидуалу, а остатак се распрости-ре на остала опажања.

Највећу вредност локалне мере унутрашње поузданости имају дужине d_{AS} и d_{SA} , а износи 0.707. На осно-ву тога, може се закључити да је 70.7% грешке мере-ња ових дужина садржано у њиховим резидуалима.

5. ЗАКЉУЧАК

Квалитет геометрије мреже не обезбеђује се само кон-тролом критеријума прецизности, јер су ти критеријуми већином зависни од избора датума мреже. Стога је неопходно, заједно за критеријумима прецизности, разматрати и критеријуме поузданости геодетске мре-же. Анализом поузданости геодетских мрежа могуће је предвидети, контролисати и одстранити утицаје грубих грешака у резултатима опажања.

Вредности локалне мере унутрашње поузданости из приказаног примера крећу се распону од 0.353 до 0.707, а као глобална мера унутрашње поузданости може послужити њихова средња вредност која износи

0.500. На основу наведеног, може се закључити да пројектована мрежа задовољава потребну поузданост.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Uznański A., „Quality Control of Geodetic Networks at Leica Geo Office“, *Geomatics and Environmental Engineering*, 2(1) (2008) 77-84.
- [2] Ашанин, С., *Инжењерска геодезија*, Грађевински факултет, Београд, 2003.
- [3] Radojčić S., „Koncept pouzdanosti geodetskih mreža“, *Vojnotehnički glasnik*, 2(10) (2009) Beograd, 179-187.
- [4] Novaković G., Marenić A., Mimica S., „Analiza pouzdanosti geodetske osnove za inženjerske radove“, *Simpozijum o inženjerskoj geodeziji SIG2007, Zbornik radova*, Beli Manastir, (2007) 69-79.
- [5] Vrce E., „Kvalitet geodetske mreže“, *Geodetski glasnik*, 39 (2007), Savez udruženja građana geodetske struke Bosne i Hercegovine, 5-22.
- [6] Caspary W. F., *Concepts of Network and Deformation Analysis, School of Surveying*, The University of New South Wales, Kensington, Australia, 1987.
- [7] Baarda, W., *A testing procedure for use in geodetic networks*, Netherlands Geodetic Commission, Publication on Geodesy, New Series, 2 (5) Delft, Netherlands, 1968.



АУТОМАТСКА ЕКСТРАКЦИЈА ДИГИТАЛНОГ МОДЕЛА ПОВРШИ САВРЕМЕНИМ МЕТОДАМА

AUTOMATIC EXTRACTION DIGITAL SURFACE MODEL WITH CONTEMPORARY METHODS

ЗЛАТАН МИЛОЊИЋ

Војногеографски институт, Београд, zlatan.milonjic@gmail.com

ДЕЈАН ЂОРЂЕВИЋ

Војногеографски институт, Београд, dejandjordjevic.vgi. @gmail.com

СИНИША ДРОБЊАК

Војногеографски институт, Београд, sdrobnjak81@gmail.com

Резиме: Систем за снимање из ваздуха познат као LiDAR представља главну технологију за прикупљање података ради добијања дигиталних површинских модела (Digital Surface Models - DSM) и дигиталних елевационих модела (Digital Elevation Models – DEM) за различите сврхе, укључујући и орторектификацију. Истовремено, дигиталним линијским Pushbroom скенерима, као што је ADS80, обезбеђује се вишеструко стерео покривање које се може употребити за добијање DSM/DEM захваљујући снимљеном материјалу. Као фундаментални приступ употребљен је принцип Семи-Глобалног Подударања (СГП) (eng. Semi-Global Matching) који је погодан приликом процеса прорачунавања дигиталних модела површи високих перформанси и високе резолуције. Овим радом је представљен приступ СГП приликом обраде резултата мерења добијених системом ADS80, као и поређење резултата добијених коришћењем LiDAR система – у погледу обраде података, као и DSM/DEM резолуције и тачности. Извршена је упоредна анализа и поређење СГП и LiDAR својстава, што је на конкретном примеру и илустровано. Показало се да СГП може да се користи као алтернатива LiDAR систему. За одређене примене за које је неопходно генерисати дигитални модел површи високе резолуције или израдити ортофото снимке – чиме се штеде додатни трошкови лета - СГП је приоритетан избор.

Кључне речи: Дигитални модел површи, Скенер Pushbroom, LiDAR, Алгоритми, Семи-глобално подударање, Орторектификација.

Abstract: The airborne mapping called LiDAR (Light Detection and Ranging) has become the main technology to provide data for Digital Surface Models (DSM) and Digital Elevation Models (DEM) for various purposes, including orthorectification. At the same time, digital Pushbroom line scanners such as the ADS80 provide multiple stereo coverage, which can be used for image-based DSM/DEM derivation. The underlying approach is Semi-Global Matching (SGM), which is suited for high-performance and high-resolution DSM computation. This paper presents the SGM approach for ADS80 and compares the results against LiDAR – in terms of data processing as well as DSM/DEM resolution and accuracy. The SGM and LiDAR properties are compared and exemplarily illustrated based. It is shown that SGM can be used as an alternative to LiDAR. For certain applications such as high resolution DSM generation or orthoimage production in general – where it saves the additional flight costs – SGM is even considered the preferred choice.

Keywords: Digital surface models, Pushbroom scanner, LiDAR, Algorithms, Semi-global matching, Orthorectification.

1. УВОД

У последњој деценији систем за снимање из ваздуха познат као LiDAR (Light Detection and Ranging) је афирмиран као кључна технологија за добијање дигиталних модела површи (DSM) високе резолуције као и/или за добијање дигиталних елевационих модела (DEM). У исто време, долази до раста потребе за побољшањем тачности и већом резолуцијом дигиталних модела површи и дигиталних елевационих модела. Систем LiDAR се обично кори-

сти ради испуњења наведених захтева за различите потребе, укључујући и добијање ортофотоа. Међутим, с обзиром на знатне трошкове набавке, избегава се његова примена само за потребе орторектификације. Узимајући у обзир чињеницу да се применом камере за аерофотограмetriјско снимање ADS80 произвођача Leica Geosystems обезбеђује вишеструко стерео покривање, снимљени материјал може и треба да се користи за фотограмetriјско добијање дигиталних модела површи. Дакле, указује се потреба да се поред LiDAR система за аквизицију и обра-

ду података, развију поступци-алгоритми за генерисање дигиталних модела површи на основу података снимљених линијским скенером ADS80 – дигиталном камером за аерофотограметријско снимање. У зависности од величине пиксела на терену (ground sampling distance - GSD) генерише се DSM високе резолуције, при чему се тежи подудару са актуелном резолуцијом снимка. Другим речима, свака тачка генерисаног DSM одговара једном пикселу. Алгоритми помоћу којих се на глобалном нивоу минимизирају како вредности тако и разна ограничења, назирају се глобално сликовно подударење и сврставају се у најбоље алгоритме у погледу постизања високог квалитета и резолуције. Предности тих алгоритама су перформансе које се односе на принцип Семи-Глобалног Подударања (СГП) који је развио Hirschmüller [1, 2, 3]. Семи-глобалним подударењем се апроксимира дводимензионална, глобална агрегација усклађивања вредности од стране једног броја једнодимензионалних вредносних трајекторија. И даље се постиже слична тачност као применом потпуног глобалног подударења, али знатно брже - као на пример, систематским поређењем СГП са локалним и глобалним алгоритмима подударења применом различитих вредносних функција по Hirschmüller and Scharstein [1]. Као резултат тога, СГП се додатно истражује и побољшава од стране различитих истраживача за различите врсте примена и сетове података укључујући и аерофото снимке, терестричке и сателитске податке или видео секвенце.

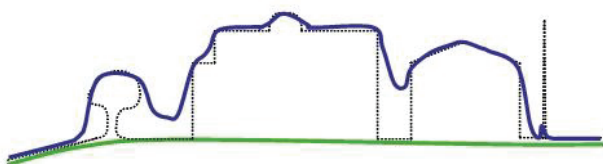
Учили смо да СГП испуњава нашу потребу за дигиталним моделом површи високе резолуције и високих перформанси. Узимајући у обзир чињеницу да је СГП принцип добро прихваћен с обзиром на квалитет резултата, алгоритам је прилагођен јединственим својствима ADS80 линијског Pushbroom скенера применом постојећег софтверског окружења, са посебним високо оптимизованим модулом.

Остатак овог рада описује процес добијања дигиталног модела површи на основу ADS80 података базираних на принципу СГП.

2. СЕМИ-ГЛОБАЛНО ПОДУДАРАЊЕ

Алгоритам

За генерисање дигиталног модела површи очекиване тачности неопходно је обезбедити редундантност улазних података, што се постиже захваљујући вишеструким снимцима са подужним преклопом од 100 %. С обзиром да се генерише коришћењем стереоскопских снимака, DSM је обично представљен пејзажном куполом која садржи висинску информацију о свим детаљима изнад површине, укључујући и врхове зграда у дрвећа [1].



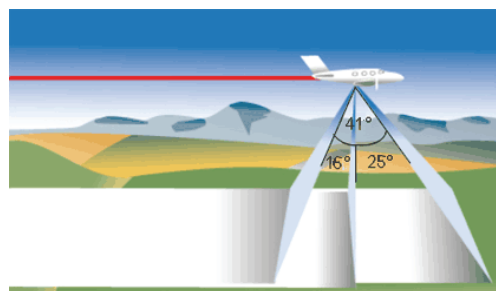
Слика 1: Приказ стварних облика (црна боја), дигитални модел површи (плава боја) и дигитални модел терена (зелена боја)

Дигитални систем за аерофотограметријско снимање ADS80 представља интеграцију три технологије у један систем за прикупљање података у дигиталном облику [2]:

- Глава сензора (Sensor Head – SH82),
- Глобални позициони систем (Global Positioning System – GPS) и
- Инерцијални навигациони систем (Inertial Navigation System – INS) познат и као инерцијална мерна јединица (Inertial Measurement Unit – IMU).

Њиховом комбинацијом се могу одредити координате тачака на површи земље са високом тачношћу.

Као што је напоменуто, комплетно решење за генерисање DSM представљено је софтвером Leica XPro, тј. модулом DSM Extraction који се заснива на принципу Семи-Глобалног Подударања (Semi-Global Matching) [2]. СГП представља приступ сликовној корелацији који је развио и усавршио Hirschmüller, а ми смо применили на конкретном примеру. Суштина алгоритма је у методу решавања подударности, односно упаривања појединих идентичних делова стереопара, тако да се принцип СГП заснива на компјутерском виду. Сlike (снимци) обично представљају дводимензионалну пројекцију тродимензионалног света. Компјутерски просторни стерео вид се односи на регистровање података, тј., снимање слика са две или више камера које су међусобно хоризонтално размакнуте једна од друге (са различитих база). У случају дигиталног система за аерофотограметријско снимање ADS80, то је постигнуто применом Pushbroom линијског скенера са три угла снимања: задњи – надир – предњи (Backward – Nadir – Forward):



Слика 2: Три различита угла снимања

На тај начин омогућено је снимање објеката из различитих углова (сваки објекат је снимљен три пута), тако да се на основу анализа сличности и разлика у погледима могу да израчунају параметри који се користе у апликацијама компјутерског вида попут реконструкције оригиналне тродимензионалне сцене. Дакле, сваки објекат, тј., свака сцена је у сваком тренутку три пута снимљена при чему се, на први поглед, мало разликују. Упоредивањем добијених стереопара може се добити додатна информација о дубини сцене. Процес добијања дубине сцене из стереопара назива се прорачун просторности [3].

С обзиром на чињеницу да је геометрија камере позната, може се рећи да је базно растојање $B = C_l - C_r$ константно. Поређењем сличних троуглова, тј., при-

меном триангулације могуће је одредити удаљеност до тачке (X, Y, Z) објекта у простору или дубина објекта Z [4]:

$$\frac{X}{Z} = \frac{x_l}{f} \text{ и } \frac{X-B}{Z} = \frac{x_r}{f} \quad (1)$$

тако да се може извести следећа једначина:

$$Z = \frac{B \cdot f}{x_l - x_r} = \frac{B \cdot f}{d} \quad (2)$$

Проблем упаривања идентичних тачака или подручја на основу стереопара се назива проблем подударности при чему поступак обављају алгоритми који укључују претраживање и поређење детаља. Тај поступак се може знатно поједноставити увођењем одређених претпоставки и ограничења у алгоритме. Претпоставке које су примењене у алгоритмима СГП принципа су:

- еиполарно исправљање,
- једнозначност упаривања,
- глаткоћа површина,
- редослед упаривања.

Генерисање DSM

Комплетно решење за генерисање DSM представљено је софтвером Leica XPro, тј. модулом DSM Extraction:



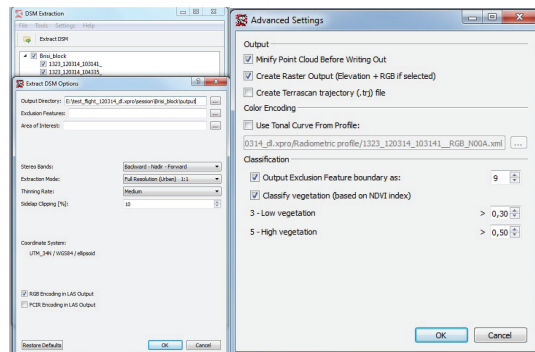
Слика 3: Главни прозор софтвера Leica XPro (стартовање модула DSM Extraction)

Софтвер Leica XPro се састоји из више модула (апликација). За разлику од осталих модула, модул DSM Extraction заузима највише системске меморије, тако да је за његово функционисање неопходно обезбедити минимално 8 гигабајта RAM меморије. Као улазни податак се користе ADS L0 снимци (редови снимања) који су претходно убачени у блок (модул Block Preparation). Снимци могу бити панхроматског или инфрацрвеног спектра и морају да имају формирану пирамидалну структуру.

Након учитавања блока и одабира редова за генерисање DSM, извршено је додатно подешавање екстракције дигиталног модела површи [4]:

- Exclusion features (искључивање из процеса генерисања) и Area of Interest (интересно подручје) – опције за које је потребно обезбедити *.shp фајл при чему је координатни систем *.shp фајла дефинисан *.prj фајлом; у случају да нема *.prj фајла, модул аутоматски користи WGS84 координатни систем,
- Stereo Bands – одабир стерео захвата, при чему су могуће следеће варијанте:

- панхроматски: задњи – надир – предњи (Backward – Nadir – Forward)
- панхроматски: задњи – надир (Backward – Nadir)
- инфрацрвени: задњи – надир (Backward – Nadir)



Слика 4: Дефинисање опција генерисања DSM

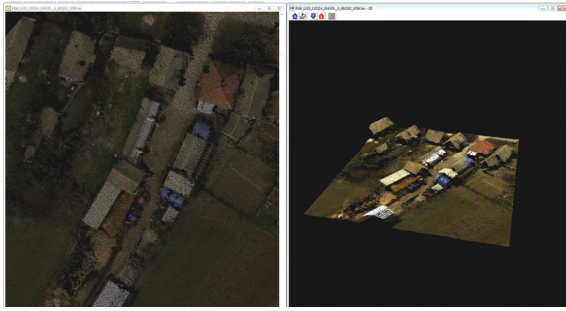
4. РЕЗУЛТАТИ ГЕНЕРИСАЊА ДИГИТАЛНОГ МОДЕЛА ПОВРШИ

Генерисање дигиталног модела површи је извршено коришћењем података снимања урбаног подручја – Сланкамена. Снимање је извршено дана 14.03.2012. године са висине од 700м (GSD 7) применом дигиталне технолошке линије за аерофотограметријско снимање коју је Министарство одбране набавило за потребе Војногеографског института. Комплет опреме чини ваздухоплов Piper Seneca V америчког произвођача Piper Aircraft, са интегрисаном дигиталном аерофотограметријском камером ADS80 швајцарског произвођача Leica Geosystems AG, као и припадајући софтвери. Оно што представља куриозитет за овај рад јесте чињеница да је то прво снимање дела територије Републике Србије које су извршили припадници Војске Србије применом ове технологије.



Слика 5: Сланкамен – тест подручје (GSD 7)

Генерисање дигиталног модела површи је извршено коришћењем модула DSM Extraction, док је припрема података урађена применом одговарајућих модула софтвера Leica XPro.



Слика 6: Детаљ дигиталног модела површи – 3D приказ

Слично као код дигиталне камере за аерофотограметријско снимање Leica ADS80, LiDAR је резултат интеграције три технологије у један систем [5]:

- Ласерски скенер (Laser Scanning And Ranging System),
- Глобални позициони систем (Global Positioning System – GPS),
- Инерцијални навигациони систем (Inertial Navigation System – INS) познат и као инерцијална мерна јединица (Inertial Measurement Unit – IMU) за регистрацију промена положаја између два ГПС читавања, као и за одређивање оријентације и
- RGB/NIR (Red-Green-Blue/Near Infrared) камера високе резолуције (опционо).

Ласерско скенирање LiDAR (Light Detection And Ranging) представља методу прикупљања дигиталних просторних података. Принцип LiDAR система се заснива на емитовању ласерског зрака високе фреквенције који се делимично рефлектује, а једним делом апсорбује тлом или другим објектима у простору. Временска разлика између емитованог и рефлектованог дела ласерског зрака даје дужину између инструмента и тачака на терену, док се координате тачака добијају на основу измерених растојања, углова ласерског зрака (углова огледала) и елемената спољашње оријентације [6]. Као пример нове технологије за генерисање дигиталних модела површи, систем ADS80 се све више користи као алтернативни избор. Дигитални модели површи се генеришу на основу снимака снимљених у идеалним условима (угао сунчевих зрака, избегавање облачности и турбуленције, ...). Тачност генерисања DSM зависи од тачности аеротриангулације – око 0,5 GSD положајно и око 1,5 GSD висински, при чему турбуленција током лета може да утиче на смањење квалитета снимака; самим тим, и на смањење квалитета DSM. У оба случаја се добијају DSM са великим бројем тачака, тако да је неопходно додатно процесирање и обрада пре употребе за одређене намене. Подаци се могу класификовати аутоматски са циљем одређивања дигиталног модела терена (DTM), урбаних подручја или вегетације са минималним мануалним интервенцијама. Знатно већа густина тачака добијених применом алгорита СГП олакшава иден-

тификацију структуре података, смањујући грешке приликом мануелног едитовања. Поред тога предност поред могућности коришћења процедура за подударност слике је и у геометрији слике и конинуираној обради снимљеног материјала.

5. ЗАКЉУЧАК И ПЕРСПЕКТИВЕ

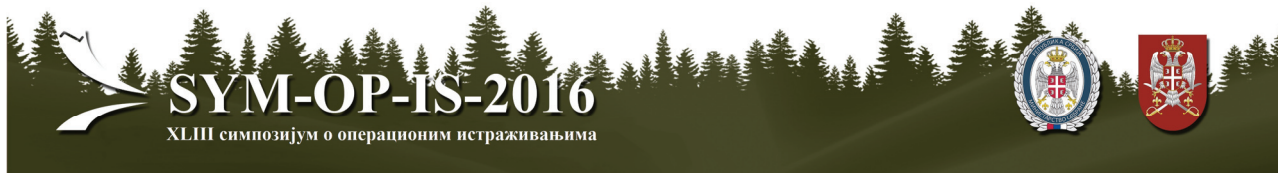
Овим радом представљено је добијање дигиталних модела површи применом принципа заснованог на Семи-Глобалном Подударању (СГП) коришћењем података добијених ADS80 линијским скенером, као и поређење система ADS80 и LiDAR. Утврђено је да се применом принципа СГП могу добити модели површи који се веома слажу са моделима добијених LiDAR скенером и који у будућности не морају бити само алтернативни избор за генерисање дигиталног модела површи. Захваљујући високој резолуцији снимака добијених применом дигиталне камере за аерофотограметријско снимање ADS80, повећањем густине тачака откривају се детаљи које тешко може да разазна LiDAR скенер.

Да закључимо, приказано је да су добијени дигитални модели површи применом система ADS80 ефикасна алтернатива подацима добијених применом LiDAR технологије, посебно у условима када се захтева висока резолуција. Иако оба скупа података генерално могу бити употребљена у сврху орторектификације, боље је одабрати систем ADS80 с обзиром да се заснива на истом скупу података идентичне геометрије и резолуције – при чему се избегава додатни трошак коришћењем LiDAR система.

На основу овог практичног искуства и предстојећих потреба, принцип СГП ће наставити да се усавршава и примењује у пракси. Крајњи циљ је дефинитивна интеграција у радно окружење система ADS у процесу генерисања дигиталних модела површи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hirschmüller, H. and Bucher, T., *Evaluation of Digital Surface Models by Semi-Global Matching*, DGPF, Vienna, Austria, 2010.
- [2] Hirschmüller, H., *Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 30, No. 2, 2008.
- [3] Hirschmüller, H., Scharstein, D., *Evaluation of Cost Functions for Stereo Matching*. Proc. IEEE Conference on CVPR, Minneapolis, Minnesota, 2007.
- [4] Szeliski, R., *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2010.
- [5] <http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm>
<http://www.lidar.com>



УПОТРЕБА GIS-MCDA АНАЛИЗЕ У ЦИЉУ ИЗРАДЕ МАПЕ РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА

THE USE GIS-MCDA ANALYSIS FOR MAKING RISK MAPS OF LANDSLIDES

ЉУБОМИР ГИГОВИЋ

Војна академија, Београд, ljubomir.gigoviclj@va.mod.gov.rs

МИОДРАГ РЕГОДИЋ

Војна академија, Београд, mregodic62@gmail.com

ДАРКО ЛУКИЋ

Војна академија, Београд, darko.lukic@va.mod.gov.rs

Резиме: У раду је приказан модел комбиновања ГИС-а са техником вишекритеријумске анализе у циљу вредновање осетљивости земљишта на ризик од настанка клизишта. Предложени метод се заснива на интеграцији вишекритеријумске технике, по имену аналитички хијерахијски процес (АНП), у оквиру Географских информационих система (ГИС), са циљем евалуације осетљивости земљишта на појаву настанка клизишта. На основу изабраних критеријума, применом пондерисане линеарне комбинације (WLC), интегрисане у ГИС-у, добија се растерска мапа ризика клизишта у којој су вредности растерских ћелије скалиране у односу на осетљивост на појаву клизишта. На тај начин картографски се издвајају простори са већим условима на појаву клизишта, у односу на просторе који су стабилни са становишта појаве клизишта. Предложена метода и резултати овог рада су практично тестирани на примеру регије Кључа, а могу се успешно применити и на друге просторе сличних географских одлика..

Кључне речи: ГИС, вишекритеријумска анализа, клизишта, ризици

Abstract: This paper presents a model of combining GIS with technology multi-criteria analysis in order to evaluate soil susceptibility to the risk of landslides. The proposed method is based on the integration of multi-criteria technique, called analytic hierarchy process (AHP), in the context of Geographic Information Systems (GIS), with the aim to evaluate soil susceptibility to the occurrence of the landslide. Based on the selected criteria, using weighted linear combination (WLC), integrated into the GIS, obtained raster map risk of landslides in which the value of raster cells scaled in relation to the sensitivity of the landslides. The proposed method and the results of this work are practically tested in the case of scalding region, and can be successfully applied to other areas of similar geographical feature.

Keywords: GIS, multi-criteria analysis, landslides, risks

1. УВОД

Процењује се да у свету на годишњем нивоу штета изазвана клизиштима прелази више милијарди долара. Такође, сваке године у свету од ове појаве страда на хиљаде људи. Србија спада у подручја прилично угрожена овом појавом. Око 30% наше земље је подложно клизиштима. Само на територији Београда постоји више од 750 клизишта, а у Србији чак око 36 000. У протеклој деценији нашу земљу је обележила активација великог броја клизишта. Штете које су она изазвала биле су огромне. Узроковала су чак и расељавање целих делова насеља. Да би се штете умањиле, важно је упознати се са овом елементарном непогодом и избегавати градњу на угроженом подручју. Показало се да је много јефтиније и ефикасније предупредити клизишта него их касније санирати. Први корак у процедури процене ризика од клизишта је да се обезбеди мапа која даје приказ подложности клизи-

штима. На овој мапи може се видети предложено рангирање појединих делова терена у смислу просторне вероватноће за појаву клизишта.

Овај рад предлаже просторни вишекритеријумски метод за подршку доносиоцима одлуке у процесу превенције од појаве клизишта. Предложени метод се заснива на интеграцији вишекритеријумске технике, по имену аналитички хијерахијски процес (АНП) у оквиру Географских информационих система (ГИС), са циљем евалуације земљишта са становишта осетљивости на појаву клизишта на студији случаја регије Кључа. Поступак је развијен уз помоћ различитих критеријума, који су коришћени као фактори осетљивости.

2. ГИС- MCDA

Евалуација земљишта представља проблем који захтева манипулацију са великим бројем података. ГИС технологије су идеалне за ову врсту студија, јер могу ефикасно да управљају великим количинама просторних и атрибутивних података. Да би се омогућило вишекритеријумско одлучивање и представљање резултата у простору кроз ГИС, неопходно је интегрисати алате за вишекритеријумско одлучивање (MCDA) са ГИС-ом. Основна предност интеграције ГИС и MCDA је да имају јединствене могућности које се међусобно допуњују. ГИС има велике могућности за манипулацију, складиштење, управљање, анализу и визуализацију геопросторних података, док MCDA нуди колекцију процедура, технике и алгоритама за доношење одлука и оцену алтернатива [3]. Основни методолошки приступ у овом раду је интегрисање ГИС-а и вишекритеријумских техника у виду аналитичког хијерархијског процеса (АНР) и пондерисане линеарне комбинације (WLC) [4].

Предложени модел обухвата следеће кораке:

Корак 1. Дефинисање проблема и области студије;

Корак 2. Идентификација критеријума који утичу на осетљивост земљишта на појаву клизишта;

Корак 3. Прикупљање података и формирање растера података за сваки критеријум;

Овај корак омогућава уношење, прихватање и трансформацију просторних и тематских података у дигиталну форму. Скупови података у ГИС-у се обично организују у векторском или растерском формату.

Корак 4. Стандардизација скупова података и формирање рекласификованих мапа за сваки критеријум;

Најчешће примењив метод стандардизације података (реклаификација) је линеарно претварање атрибута у интервал скале, након чега свака ћелија растера добија целобројну вредност према оцени доносиоца одлуке у односу на циљ анализе. Подаци у рестерисаним мапама деле се у к класа погодности, а затим се свакој класи додељује скор. Уобичајене вредности на скали су од 1 до 10 или од 1 до 5. На тај начин се омогућава даље извршење аритметичких операција на критеријумским растерима.

Корак 5. Формирање матрице одлучивања и одређивање нормализованих тежинских коефицијената критеријума;

При решавању реалних проблема, критеријуми најчешће немају исти степен значајности, па је потребно да доносилац одлуке дефинише факторе значајности појединих критеријума користећи одговарајуће тежинске коефицијенте (тежине) или пондере за критеријуме. За израчунавање нормализованих тежина критеријума и коначну примену WLC методе у овом раду искоришћен је Аналитички хијерархијски процес (АНР) [5].

АНР је одговарајућа процедура за моделирање које се заснива на растерским подацима у мултикритеријумској хијерархијској конфигурацији. Процедура укључује процену важности сваког појединачног фактора, засновану на стручном мишљењу једног или више експерата. Уколико се узме да је n број условних фактора, онда укупни број поређења које један експерт треба да направи износи $n(n-1)/2$, због чега је ова процедура адекватна само у случајевима када се ради о не више од десет фактора. Оригинална техника (Saaty 1980) подразумева оцењивање које се састоји од девет нивоа, али је могућ и другачији систем [5].

Систем оцењивања од девет нивоа се затим примјењује на дводимензионалну $n \times n$ реципрочну матрицу, која се зове матрица поређења, а која се генерише тако што се сви фактори међусобно упоређују у паровима. Потребно је напоменути да се оцене транспонирају преко главне дијагонале матрице, тако да одговарајуће оцене (од 1 до 9) добију реципрочну вредност (1 кроз 1/9), симетрично дуж главне дијагонале.

Да би се добио вектор приоритета као тежински вектор процедура захтева нормализацију матрице поређења и одређивање просечне вредности оцена из матрице поређења сумирајући вредности у редовима. Вектор приоритета ће представљати крајњу расподелу тежина w_i када матрица постане конзистентна, односно када у оценама буде врло мало или нимало контрадикторности. Када се вектор нормализује, сума тежина треба да буде 1.

Конзистентност матрице се контролише путем параметара конзистентности CI, RI и CR (Consistency Index – индекс конзистентности, Random Index – индекс за случајну матрицу и Consistency Ratio - коефицијент конзистентности), које је креирао Saaty, а коришћењем формуле: $CR=(CI/RI)<0.1$.

Корак 6. Сумирање мапа критеријума у мапу осетљивости на појаву клизишта;

Коначне мапе погодности параметара добијају се применом пондерисане линеарне комбинације (WLC), односно сумирањем отежаних нормализованих вредности по свим критеријумима према формули:

$$S = \sum w_i x_i \quad (1)$$

где је S индекс осетљивости, w_i је нормализована вредност тежине фактора i , и x_i је пондерисана вредност критеријума i .

Тежинске вредности w_i у моделу су једноставно мултипликатори тематских слојева у ГИС-у, јер они множе сваки пиксел (његов дигитални број x_i) сваког растерског слоја, а затим саберу све (помножене) слојеве заједно, након чега се добије финални растерски модел подложности клизиштима. Модел описује просторну расподелу подложних зона (где је по подложност, мала представљена са малим, а велика са великим вредностима) на стандардној скали. Стандардна скала није адекватна, стога се користи процедура нормализације како би била уређена на уобичајенији начин, нпр. у распону од 0 до 1 или 0 до 100%. Даље, је

могуће одабрати одговарајуће прекиде и произвољно одредити интервале, нпр. мала, умерена и велика подложност.

Корак 7. ГИС визуелизација коначног решења и препоруке;

Визуелизација коначних решења се најчешће реализује у виду картографског приказа у ГИС окружењу [3].

2. ПРИМЕНА МОДЕЛА НА СТУДИЈИ ОБЛАСТИ

Тестирано подручје је регија Кључ која је смештена у окуци реке Дунав, на граници према Румунији и има површину од 581 км².

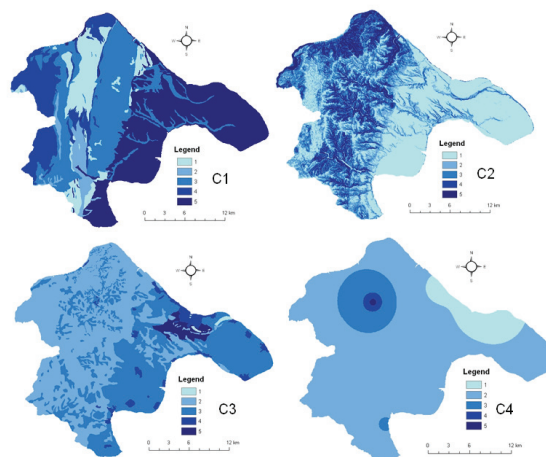
Први корак био је да се одреде узрочни фактори и њихова релативна важност, а узимајући у обзир обим анализе и принципе АНР-а. Идентификована су четири главних фактора: геологија С1, нагиб С2, земљишни покривач С3 и падавине С4.

У следећем кораку извршен је унос у ГИС, те су израђене одговарајуће факторске мапе у ГИС окружењу. Сетови ГИС података о геолошком покривачу и ерозији преузети су из векторске базе Геолошког информационог система. Карте просторне дистрибуције падавина добијене су применом Кригинг интерполационе методе на основу геореференциране мреже од 8 метеоролошких станица са унетим климатским вредностима за референтни период од 65 година. Подаци о коришћењу земљишта су прузети на основу CORINE Land Cover 2006 (CLC2006) базе података [7]. За извор података критеријума нагиба и аспекта рељефа коришћен је Дигитални модел терена (DMT 25, 25x25м) висинске тачности од 2-5м, издања ВГИ. Сви ГИС процеси (дигитализација, конверзија, 3D Analyst и др.) у току уноса и изградње просторне базе критеријума и ограничења су су изведени коришћењем интегрисаних алата ArcGIS 10.2 софтвера [1].

Табела 1: Стандардизација критеријума

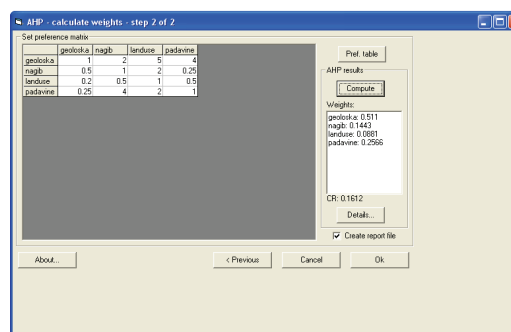
Кри тер.	Вредност ћелије				
	1	2	3	4	5
C1	гранит кварц	кречњак	микаша исти	филш, гнајс	песак, шљунак
C2	0°-5°	5°-10°	10°-30°	30°- 45°	>45°
C3	водна тела	Вегета ција	пољо привреда	инду стрија	урбано
C4	600-700	700-800	800-900	900-1000	>1000

На основу усвојене скале вредности сваког критеријума од 1 до 5, у даљем поступку врши се конвертовање скупова података у растерски формат, а затим се, софтверским алатом исти рекласификују према задатим вредностима класе из Табеле 1. Рекласификација критеријума на картама симболизују се са нијансама боје, тако да светлије нијансе боје представљају мање подложне, док тамније нијансе боје представљају више подложне просторе за појаву клизишта (Слика 2).



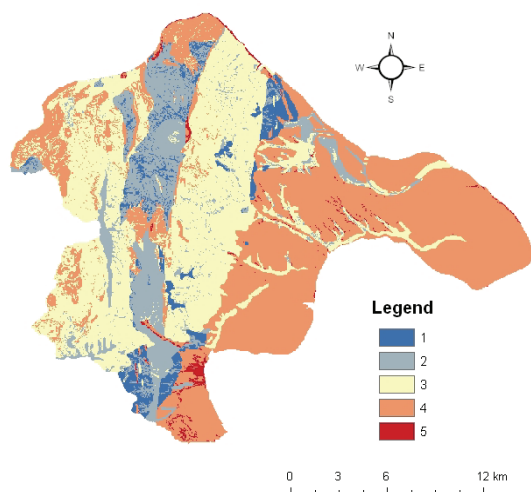
Слика 1. Мапе стандардизованих критеријума

У следећем кораку израђена је одговарајућа АНР матрица поређење критеријума према подложности клизиштима. При поредјењу се користи Сатијева скала вредновања. Посматрајући дефинисани циљ, за сваки пар критеријума у матрици резултата поредјења треба унети вредност значаја једног критеријума у односу на други на позицију од 1 до 9. Цела анализа се врши у оквиру интегрисаног алгорита АНР у оквиру ArcGIS 10.2 апликације која израчунава векторе сопствене вредности матрице критеријума и конзистентност процеса [6]. Нормализована матрица критеријума, израчунате тежине критеријума и коефицијент конзистентности су дати на Сlici 2.



Слика 2. АНР модул интегрисан у ГИС

У следећем кораку, врши се сумирање отежаних нормализованих вредности критеријума. На тај начин, множе се тежине критеријума, добијених као резултат анализе АНР-а, са скором ћелија растера сваког критеријума и као резултат се генерише коначна мапа подложности на појаву клизишта. Коначна мапа, представљена је у истом вредносном опсегу као и појединачни критеријуми, од 1 до 5. Већа вредност ћелије је карактеристична за простор који је више подложен за појаву клизишта, а 1 представља подручја која су стабилна на појаву клизишта.



Слика 3. Коначна мапа ризика од појаве клизишта

Завршни корак анализе представља издвајање ћелија са различитим вредностима из коначне мапе погодности. Из добијене анализе (Слика 3) увиђамо да на подручју регије Кључа имамо 6 км² врло подложног (оцена 5), 252 км² подложног (оцена 4), 208 км² умереног подложног (оцена 3), 87 км² слабо подложног (оцена 2) и 28 км² неподложног (оцена 1) земљишта са становишта ризика од појаве клизишта. Уз ову анализу, као погодан метод за тестирање резултата у процесу даљих истраживања, се може препоручити Sensitivity Analyses (SA).

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је за вредновање подложности земљишта на појаву клизишта предложена комбинација вишекритеријумских метода АНР и WLC у оквиру ГИС софтверског окружења. АНР је коришћен у делу одређивања тежина, односно значаја сваког критеријума који утичу на појаву клизишта, а WLC за сумирање тежина и коначну идентификацију простора ризичног на појаву

клизишта у ГИС-у. Веза ових алата омогућена је у оквиру ArcGIS Advanced 10.2 софтвера фирме ESRI. Примена ГИС вишекритеријумске методе, изведена на реалном примеру регије Кључ, показала се успешном и оправданом, јер је, на бази четири критеријума (геологија C1, нагиб C2, земљишни покривач C3 и падавине C4), извршено вредновање подложности земљишта на појаву клизишта. Као резултат истраживања добијена је финална мапа ризика од клизишта. Предложени ГИС-АНР-WLC модел допушта укључивање и других критеријума који ће имати додатну улогу у избору најбољег решења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gigović LJ. *Digital models of heights and military application for terrain analysis*. Military Technical Courier, Volume 2, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Belgrade, 165-177. 2010.
- [2] Eastman JR. *Guide to GIS and image processing*. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA, 1999.
- [3] Malczewski J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY. 1999.
- [4] Malczewski J. *GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature*. International Journal of Geographical Information Science 20:7, pp. 703–726. 2006.
- [5] Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 287. 1980.
- [6] Marinoni O. *Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS*. Computers and Geosciences, Volume 30 (6), 637-646, 2004.
- [7] <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-land-cover>

ОБАВЕШТАЈНА АНАЛИЗА ДИГИТАЛНО-МОДЕЛОВАНИХ ПОДАТАКА О ПРОСТОРУ

GEOSPATIAL INTELLIGENCE (GEOINT) ANALYSIS OF DIGITAL MODELLED SPATIAL DATA

МИОДРАГ КОСТИЋ,

Генералштаб Војске Србије, Београд, kmiodrag@ikomline.net

РАДОЈЕ БАНКОВИЋ

Војногеографски институт, Београд, radoje.bankovic@yahoo.com

СЛАВИША ТАТОМИРОВИЋ

Војногеографски институт, Београд, vgi@vs.rs

Резиме: *Савремена технологија и подаци у дигиталном облику организовани у одговарајућој бази података омогућавају геопросторну анализу борбеног простора на један нов начин, при чему је борбеном простору додата компонента мултидимензионалности, која је омогућила да се физичко географски подаци о простору комбинују и сагледају у једном ширем контексту.*

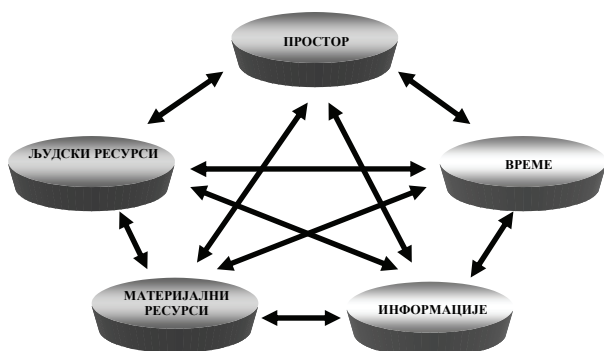
Кључне речи: *Геопросторни подаци, анализа, обавештајна припрема бојишта, мултидимензионалност.*

Abstract: *Modern technology and data in digital form, organized into appropriate database enable geospatial analysis battle space in a new way, with the added space combat component of the multi-dimensionality, which allowed the natural geographical data, about the area, combine and observe in a broader context.*

Keywords: *Geospatial data, analysis, intelligence preparation of the battlefield, multi-dimensional.*

1. УВОД

Оружана борба представља друштвену појаву и двосмерни процес у које оружане снаге ступају у борбена дејства и оружаним путем изазивају одређене промене, односно остварују одређене политичке, економске, војне и друге циљеве. У рату и оружаног борби делују пет основна фактора [1]: људски ресурси, материјални ресурси, простор, време и информације (слика 1).



Слика 1: Основни фактори оружане борбе

Свих пет фактора су међусобно зависни, повезани и испољавају међусобни утицај. Тежиште овог рада је

на анализи простора, односно његових физичко-географских карактеристика.

Простор обухвата копно, акваторију и ваздушни простор у коме се изводе операције и својом величином и физичко-географским карактеристикама битно утиче на ток и исход оружаног сукоба.

Анализа простора, односно његових физичко-географских карактеристика, се врши у оквиру обавештајне припреме бојишта¹, која је саставни део оперативног планирања² команди и потчињених састава. Обавештајна припрема бојишта реализује се кроз четири основна корака (*JP 2-01.3*)³ [2]:

- дефинисање борбеног окружења,
- опис ефекта бојишта,
- процена противника и
- израда противничке варијанте дејства.

¹ Обавештајна припрема бојишта је систематичан и непрекидан процес упоредних анализа непријатеља (претњи) и окружења у одређеној географској зони.

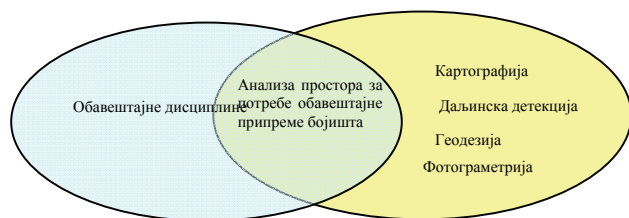
² Оперативно планирање је мисаони процес дефинисања циљева и одређивања алтернатива за њихово остварење, а реализују га команде и потчињени састави.

³ *JP-Joint Publication.*

У оквиру корака један врши се идентификовање основних физичко-географских карактеристика простора у којем се изводе операције, док се у оквиру корака два врши процена њиховог ефекта на сопствене и противничке снаге.

2. ПРИРОДА ОБАВЕШТАЈНЕ АНАЛИЗЕ ДИГИТАЛНО МОДЕЛОВАНОГ ПРОСТОРА

Обавештајна анализа дигитално моделованог простора обухвата експлатацију и анализу геопросторних података (геоподатака)⁴ у циљу обавештајне процене и визуелизације физичких карактеристика географског простора [3]. Анализа дигитално моделованог простора за потребе обавештајне припреме бојишта је процес који задире у обавештајну активност али и у део који је везан за геопросторне дисциплине као што су даљинска детекција, картографија, геодезија и др. (слика 2). Дигитално моделовање геопросторних података, њихова анализа и визуелизација се остварује уз помоћ ГИС апликација, које су саставни део географско-информационог система⁵.



Слика 2: Интердисциплинарност анализе дигитално моделованог простора за потребе обавештајне припреме бојишта

Када говоримо о анализи простора за потребе обавештајне припреме бојишта у страној литератури често се среће израз *GEOINT* (engl. *Geospatial intelligence*) - експлоатација и анализа снимака и геопросторних података⁶ који описују и визуелизују физичко-географске карактеристике и активности које су локацијски везане за одређени положај на Земљи [4]. Анализирани геопростор може се поделити на два лејера, основни лејер и обавештајни лејер. Основни лејер обухвата топографске карактеристике земљишта фиксне природне и вештачке објекте и теренске контуре које се ретко или споро мењају у простору. Обавештајни лејер обухвата широку лепезу различитих елемената и фактора, као што је време, распоред и активности јединица на терену и др.

⁴ Подаци локацијски одређени у простору помоћу координата.

⁵ ГИС можемо схватити као рационално организовани скупови рачунарског хардвера, софтвера, геопросторних података и корисника који су пројектовани тако да омогућавају ефикасно прикупљање, чување, сређивање, манипулисање, анализу и просторно приказивање географских и других информација који су од интереса за кориснике [5].

⁶ Подаци (*дата*) су знаковни приказ чињеница и појмова који описују својства објекта и њихових односа у простору и времену [6].

3. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ ОБАВЕШТАЈНЕ АНАЛИЗЕ ГЕОПРОСТОРА

Геопросторна⁷ анализа дигитално моделованог простора у готово реалном времену, без обзира на величину простора који се анализира, омогућава у многоме успешније планирање а самим тим и извођење борбених дејстава. Поред предности које пружа геопросторна анализа дигитално моделованих података о простору, постоје и одређени недостаци (табели 1).

Табела 1: Предности и недостаци геопросторне анализе дигитално моделованог простора

Предности	Недостаци
<ul style="list-style-type: none"> • Прецизност и детаљност. • Обједињује податке различитих формата. • Отвореност за податке из различитих сензора за прикупљање података. • Глобални приступ подацима. • Могућност анализе великог броја података у кратком временском року. • Једноставна манипулација, ажурирање података и могућност конвертовања података из једног формата у други. • Флексибилност у избору размере. • Приказ података по лејерима. 	<ul style="list-style-type: none"> • Неопходност високообученог кадра. • Велика почетна улагања. • Осетљивост на електронска ометања и информатичка дејства. • Дуг временски период изградње система.

3.1. Предности

3.1.1. Прецизност и детаљност

Географских елементи и објекти дати у векторском облику одликују се већом тачношћу, одређивање координата и све врсте мерења ових елемената много је лакше и прецизније. ГИС омогућава поред приказа природних просторних елемената и вештачких објеката и формирање базе података са одговарајућим атрибутима који су везани за наведене елементе, а од значаја су за корисника.

3.1.2. Обједињавање података различитих формата

Улазни подаци који се користе за анализу просторна могу бити у различитим форматима, од графичких приказа до разних база података. Већина ГИС апликација које се користе за просторну анализу терена омогућавају коришћење података у различитим форматима, њихов „import“ као и „export“ који ће задовољити

⁷ Скуп аналитичких метода који захтевају приступ како атрибутима проучаваног објекта, тако и његовим локационим информацијама [5].

ти крајњег корисника (разне тематске карте и прикази).

3.1.3. Отвореност за податке из различитих сензора за прикупљање података

Могућност прикупљања података из различитих сензора у многоме повећава квалитет добијених података и обезбеђује флексибилност и мању зависност од тренутних временских услова који владају у борбеном простору који се анализира. Већина података се прикупља помоћу електро-оптичких система, аеро и сателитских снимака који могу бити и мултиспектрални, тако да представљају додатни извор података.

3.1.4. Глобални приступ подацима

Савремени сензори за прикупљање података омогућавају да се подаци о простору добијају без обзира на доба дана или ноћи. Захваљујући савременим сензорима и доступности података, преко глобалне телекомуникационе и информатичке мреже, могу се сагледати физичко-географске карактеристике и најудаљенијих региона у приближно реалном времену. Наравно, глобални приступ подацима у приближно реалном времену и највиши степен њиховог квалитета резервисан је само за војно и економски најаче земље.

3.1.5. Могућност анализе великог броја података у кратком временском року

Једна од најважнијих карактеристика података који се налазе у дигиталном облику, без обзира да ли се налазе у нумеричком и текстуалном облику или као векторски податак који представља графички приказ неке физичко-географске карактеристике посматраног простора, јесте могућност да се над овим подацима брзо и ефикасно изврши претраживање и њихова анализа у кратком временском року, при чему се добијају значајни подаци о комплексним обавештајним проблемима. Могућност да се у кратком временском периоду команданту пруже значајне информације о комплексним односима који у датом тренутку постоје између елемената посматраног простора, може бити од пресудног значаја за доношења квалитетне одлуке током планирања, припреме и извођења борбених дејстава.

3.1.6. Једноставна манипулација и ажурирање података

Када се једном преведу подаци у дигитални облик и организују на одговарајући начин у оквиру базе података, онда је њихово даље ажурирање врло једноставно. Такође, манипулација са овим подацима је врло једноставна, као и њихово превођење из једног формата у други. Велики значај код овако организованих података се огледа и у могућности израде разних тематских приказа и карата.

3.1.7. Флексибилност у избору размере

Размера код података организованих у бази података у оквиру ГИС нема класично значење као оно које је

било везано за картографске приказе на папиру и скиниране растерске садржаје. Детаљност приказа неког простора зависи од потреба корисника као и од детаљности унетих података у бази података. Детаљност простора, односно „крупноразмерност“ садржаја остварује се зумирањем одређеног дела простора где се у „крупнијем“ зуму укључују подаци који одражавају детаљнији приказ (тактички ниво), док се при „ситнијем“ зуму искључују ситнији детаљи како посматрани простор не би био претрпан информацијама које су мање битне и нису од интереса за оперативни и стратегијски ниво разматрања.

3.2. Недостаци

Упркос предностима које доноси примена савременог метода геопросторне анализе дигитално моделованог простора за потребе обавештајне припреме бојишта, постоје одређени недостаци и ограничења које планер и извођач борбених дејстава морају да имају у виду.

3.2.1. Неопходност високообученог кадра

Геопросторна анализа дигитално моделованог простора за потребе обавештајне припремне бојишта захтева високообучен кадар и специјалистичке официре различитих профила. Поред знања и специјалистичких официра различитог профила, неопходно је и поседовање одговарајућег дугогодишњег искуства, праћење савремених трендова који су везани за дигитално моделовање података, као и начина и технологија за прикупљање података. Рад специјалистичких официра на стратегијском⁸ нивоу омогућава да на оперативном и тактичком нивоу анализу, захваљујући савременим софтверским решењима, обавља обучен кадар који није експерт за дату област.

3.2.2. Велика почетна улагања

Хадвер, софтвер, стручан кадар и његова обука, прикупљање података и њихово превођење у дигитални облик захтевају велика почетна улагања. Међутим технолошка супериорност данас све више постаје императив за успешно вођење борбених дејстава. Могућност брзог и ефикасног предвиђања будућих корака непријатеља, бити пре непријатеља на одређеном месту у простору и времену су од пресудног значаја. Према неким проценама добит са становишта економске исплативости увођења ГИС у Војску, могу се сагледати и препознати кроз истраживање часописа „*GIS World*“ обављеног 1996. године. Резултати тог истраживања су следећи [7]:

- дигитални систем који је намењен само цртању и ажурирању дигиталних радних карата враћа уложен новац у систем у односу 1:1,
- ако се систем користи за планирање активности у простору, уложени новац се двоструко враћа као добит,

⁸ По правилу анализа терена се ради за два командна нивоа ниже.

- у случају аутоматизације процеса коришћења дигиталних карата (просторни упити, временско-просторна анализа, ...) – добит је већа три пута од уложеног новца,
- уколико систем обезбеђује дељење информација на различитим хијерархијским нивоима организације, инвестиција се враћа четири пута.

3.2.3. Осетљивост на електронска ометања и информатичка дејства

Са обзиром да су дигитални подаци похрањени у бази података која је углавном саставни део ГИС војске и командно-информационих система, јасно је да су овакви подаци, као и цели систем, подложни дејству непријатељских савремених средстава која могу да угрозе или паралишу ову врсту подршке у процесу командовања и извођења борбених дејстава, употребом снага, средстава и метода електронског ратовања⁹ [8] и применом информатичког ратовања¹⁰ [9]. Објекти напада у електронском и информатичком ратовању су хардверска и софтверска компонента ГИС-а. Мета електронских дејстава и информатичких операција могу бити и системи за прикупљање података.

3.2.4. Дуг временски период изградње система и ограничени капацитети

Да би се изградио и успоставио један сложен информатички систем, као што је ГИС, који би обезбеђивао дигиталне податке неопходне за процес анализе борбеног простора, потребно је време. ГИС је систем који се непрекидно развија, отворен је за нове ажуране податке и алате који омогућавају анализе и визуелизацију. Без обзира колико систем може да прими података, на крају он је ипак у погледу капацитета ограничен, како у количини података које се могу обрадити тако и у могућношћу за њиховом презентацијом и достављању корисницима. Ограничени комуникациони капацитети онемогућавају достављање података потчињеним саставима. Такође, не треба заборавити да је за потпуно сагледавање обавештајног проблема понекад потребно доста времена.

4. МУЛТИДИМЕНЗИОНАЛНОСТ БОРБЕНОГ ПРОСТОРА

Борбени простор, који је предмет анализе, одређен је поред своје дубине и ширине и трећом компонентом висином (z), чиме добија тродимензионалност [10]. Поред тродимензионалности борбеног простора која је одређена његовим физичким карактеристикама, срећемо се и са појмом мултидимензионалности при чему се узимају у разматрање и негеографске карактеристике простора, које одређују потпуни, мултидимензиони спектар посматраног простора. Разматрање свих карактеристика борбеног простора, фактора и услова који постоје у оквиру њега, или утичу на њега, од пресудног су значаја за заштиту сопствених снага и достизање крајног жељеног циља. Електромагнетни спектар, могућности обе стране да користе савремене

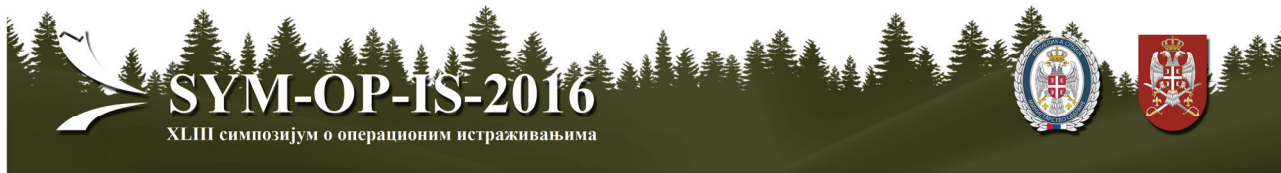
системе веза, извиђања, капацитети и рањивост сопственог и непријатељског информационог система, становништво унутар зоне операције и ван ње, само су неке од карактеристика које треба узети у разматрање при дефинисању мултидимензионалности борбеног простора. Овако сложен мултидимензионални простор представља сложен систем који се састоји из великог броја објеката, атрибута објеката и веза међу објектима и није га лако визуелизовати и анализирати.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Генералштаб Војске Србије, Доктрина Војске Србије, Београд, 2010
- [2] Joint Publication 2-01.3. *Joint Tactics, Techniques, and Procedures for Joint Intelligence Preparation of the Battlespace*, Washington, DC, May 2000.
- [3] Headquarters, Department of Army: No. 3-34.80 *Army Tactics, Techniques and Procedures*, Washington, DC, 29 July 2010.
- [4] National Geospatial – Intelligence Agency.: *Geospatial Intelligence Basic Doctrine*, GEOINT Publication 1, Washington, DC, June 2004.
- [5] Кукрика, М.: Просторни информациони системи. Скрипта. Географски факултет, Београд 2000.
- [6] Болић, Д.: *Менаџмент обавештајних информација и података*, Нови гласник, број 1, Београд, 2011.
- [7] Magazine: *GIS World*, volume 9. University of Michigan, 1996.
- [8] Headquarters, Department of Army: *Field Manual No 3-36 Electronic Warfare*, Washington, DC, November 2012.
- [9] Headquarters, Department of Army: *Field Manual No 3-34 Intelligence and Electronic Warfare Operations*, Washington, DC, September 1994.
- [10] Abdul-Rahman, A. and Pilou M.: *Spatial data Modelling for 3D GIS*, Springer, New York, 2008

⁹ енгл. *Electronic Warfare - EW*

¹⁰ енгл. *Information Warfare*



ВИСИНСКА ПРЕДСТАВА ТЕРЕНА НА ОСНОВУ АЕРО-ФОТО СНИМАЊА

ALTITUDE REPRESENTATION OF TERRAIN BASED ON AERO-PHOTO RECORDINGS

МИОДРАГ РЕГОДИЋ

Војна академија, Београд, mregodic62@gmail.com

САЊА ЈАЋИМОВИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, sjacimovic@agfbl.org

РАДЕНКО ВИШЊИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, ravisnjic@gmail.com

НАТАША ДУЈАКОВИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, natasha.dujakovic@gmail.com

Резиме: На геодетским плановима и топографским картама најчешће се примјењују методе приказа терена (рељефа) помоћу кота и изохипси. Међутим, са појавом нових технологија мијења се начин визуализације и наглашава концепт тродимензионалног модела геоподатака. Инфраструктура и тродимензионални модели геоподатака су стандардизовани, али се визуализација и детаљност садржаја мијења и усклађује према намјени и размјери приказа. Примјена тродимензионалних модела геоподатака у дигиталном облику (растер или вектор) постаје све више актуелна. У раду је приказана висинска представа терена на основу аеро-фото снимања. Практични дио рада је урађен анализом аерофотограмметријског снимка аутопута Бања Лука – Добој. Анализа је извршена уз помоћ програмског пакета PHOTOMOD.

Кључне ријечи: фотограмetriја, аеро-фото снимање, дигитални снимак, DMT, PHOTOMOD

Abstract: On geodesic plans and topographic maps, the most applied method for terrain (relief) representation is representation by elevation and contour lines. However, with the emergence of new technologies, visualization methods have changed, and today we face an emphasis on three-dimensional model of geodata. The infrastructure and three-dimensional models of geodata are standardized, but the visualization and content detail are adjusted according to the use and the map scale. Implementation of three-dimensional models of geodata in digital form (raster or vector) is becoming increasingly common. In this paper, we showed an altitude representation of a terrain based on aero-photo recordings. The practical part of this paper was done by the analysis of aero-photogrammetric recording of Banja Luka-Doboj highway. The analysis was done by using PHOTOMOD software package.

Keywords: photogrammetry, aero-photo recording, digital image, DMT, PHOTOMOD

1. УВОД

Аерофотограмметријско снимање представља важну фазу фотограмметријског процеса. Заједно са израдом плана лета дефинише укупан квалитет финалних фотограмметријских продуката као што су: дигитални модел терена, дигитални ортофото план, дигитални топографски план и дигитална топографска карта. Снимање се обавља аналогном или дигиталном камером, а представља континуирану и сукцесивну експозицију над територијом од интереса.

Снимање се обавља по унапријед дефинисаном плану, најчешће у редовима, при чему се експозиција врши тако да преклоп постоји и међу снимцима истог реда (подужни преклоп), као и међу снимцима сусједних редова (попречни преклоп). Потребно је да снимање буде изведено са најмање 60% подужног и најмање

20% попречног преклопа. Такође, потребно је да постоји довољан број тачака за међусобно повезивање снопова, везних тачака, као и довољан број тачака у теренском координатном систему.

2. ДИГИТАЛНИ МОДЕЛ ТЕРЕНА

Имајући у виду ширу примјену термина тродимензионалних модела, данас се најчешће користи појам дигитални модел терена. Према начину на који се креирају и добијају дигитални модели терена, они могу имати изворну и изведену структуру и форму приказа података. На нивоу изворних података дигитални модел терена обухвата:

- масовне тачке (обичне тачке које имају познату висину);
- карактеристичне тачке (врхови, сједла, превоји, вртаче);

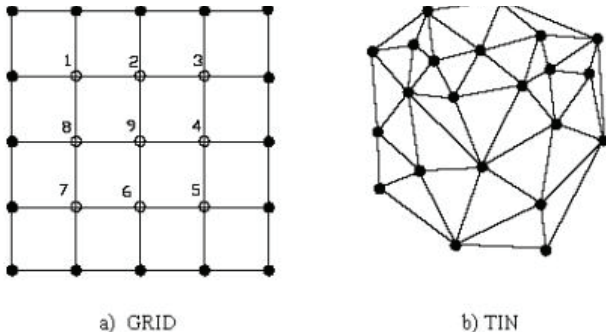
- контролне тачке (геодетске тачке тј. тригонометријске тачке и коте);
- структурне линије терена (падине и превојне линије, вододјелнице и водосливнице);
- преломне (прекидне) линије дуж којих се терен ломи у вертикалном смислу;
- карактеристичне површи (водена огледала, стјењаци, каменоломи).

Посебно би требало водити рачуна да се за висинско представљање терена бирају највиши и најнижи дијелови терена (врхови, превоји, котлине), састави ријека, раскрснице путева, мостови и важније тачке вододјелница. При томе, не смије остати већа природна цјелина без висинских тачака, као што су гребенске линије, веће заравни или падине и водени токови.

Изведени дигитални модел терена представља трансформацију свих информација садржаних у изворном скупу података, односно у њиховој структури која је расположива за опис висинске представе површи Земље са одређеном деградацијом квалитета [1].

За висинско представљање земљишта код изведеног дигиталног моделовања терена користе се два начина [2]:

- разбијање подручја интерполације на правилну мрежу (грид);
- разбијање подручја интерполације на мрежу непреклопних троуглова (TIN -Triangulated Irregular Network)



Слика 1: Приказ структуре грид и TIN модела [3]

Разбијање подручја интерполације на правилну мрежу

Организовање података дигиталног модела терена на бази правилне мреже тачака (грид), представља најједноставнији начин моделовања површи терена. Мрежа се обично састоји од квадрата чија тјемена представљају тачке са познатим висинама, али постоје и рјешења која су заснована на мрежама са правоугаоницима, правилним троугловима или шестоугаоницима.

Међутим, овдје се јавља проблем избора оптималне густине тачака, тј. резолуција за овај модел. Тако је она за поједине дијелове терена непотребно велика, док је у другима недовољна да би се представили ситнији земљишни облици. Рјешење које се код неких система користи за превазилажење тог проблема, заснива се на кориштењу модела грид промјенљиве

величине. Подаци се организују по хијерархијском принципу, тако да се на највишем нивоу налази најкрупнији, а на најнижем најситнији грид.

Додатни проблем код таквих дигиталних модела терена јесте (осим у случајевима дигиталне фотограмметријске реституције), што се не располаже висинама мјереним непосредно у тачкама које чине овај модел. Недостатак у том случају представља то што се за прорачун користе интерполоване, а не директно мјерене (изворне) висине. То може утицати на генералну (општу) тачност дигиталног модела терена. Главна предност таквог приступа јесте једноставна структура података која омогућава брзе просторне операције над елементима у моделу грид. Истовремено, постоје знатне уштеде у меморији, јер за тачке у овом моделу није потребно чувати све податке.

Разбијање подручја интерполације на мрежу непреклопних троуглова

Суштина приступа код модела TIN јесте да се површ терена дискретизује просторним непреклопним троугловима. Тјемена троуглова, која су у општем случају неправилног облика, јесу тачке са познатим висинама, односно резултат непосредних мјерења. Уз познате координате тачака троуглова, у TIN се могу једноставно уградити и друге неопходне информације, као што су карактеристичне линије терена и површи са посебним значењем (заравни, стјењаци и друго), па се његова основна структура података сматра флексибилнијом. До скоро се водила жучна расправа о предностима и недостацима између модела грид и TIN, да би се на крају закључило да најбоље резултате даје комбинација оба модела.

Поређење та два основна типа модела (организације) података показује да:

- тачке у грид имају једноставну структуру података, а у TIN врло компликовану;
- вријеме приступа у грид до одређених елемената много је мање него у TIN;
- количина података у грид је мања него у TIN;
- модел висина у TIN много боље (вјерније) представља рељеф него грид;
- при нехомогеној подјели површи TIN је подложнији промјени него грид.

Дакле, дигитални модел терена као статистичка представа континуиране површи Земље, према начину на који чува податке о висинама, може имати два облика. У првом случају, тачке су распоређене у облику правилне решетке и представљају грид [4].

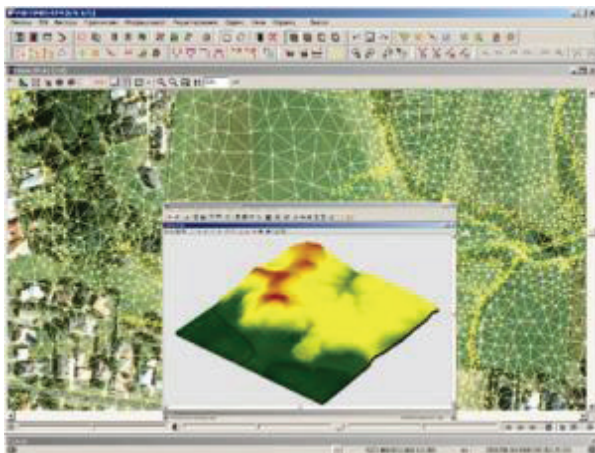
Други начин је заснован на мрежи неправилних троуглова, односно TIN, гдје тачке са три просторне координате чине мрежу троуглова који се не смију преклапати. Обје структуре података представљају изведени приказ дигиталног модела терена.

3. ПРИМЈЕР ИЗРАДЕ ВИСИНСКЕ ПРЕДСТАВЕ ТЕРЕНА У ПРОГРАМУ PHOTOMOD

Практични дио рада је урађен анализом аерофотограмметријског снимка аутопута Бања Лука – Добој. Анализа је извршена уз помоћ програмског пакета PHOTOMOD.

PHOTOMOD DTM представља комплетан сет алата за генерисање DEM-а и контурних линија. Дијелење читавог подручја стерео модела на полигоне са индивидуалним стратегијама *gendinga* дигиталног модела висина је учинковит приступ за дефинисање карактеристика локалних модела терена. Линије прекида (*breaklines*) у стерео моду, те увезене предефинисане особине терена, помажу код повећања квалитета аутоматски генерисаног TIN-а [5].

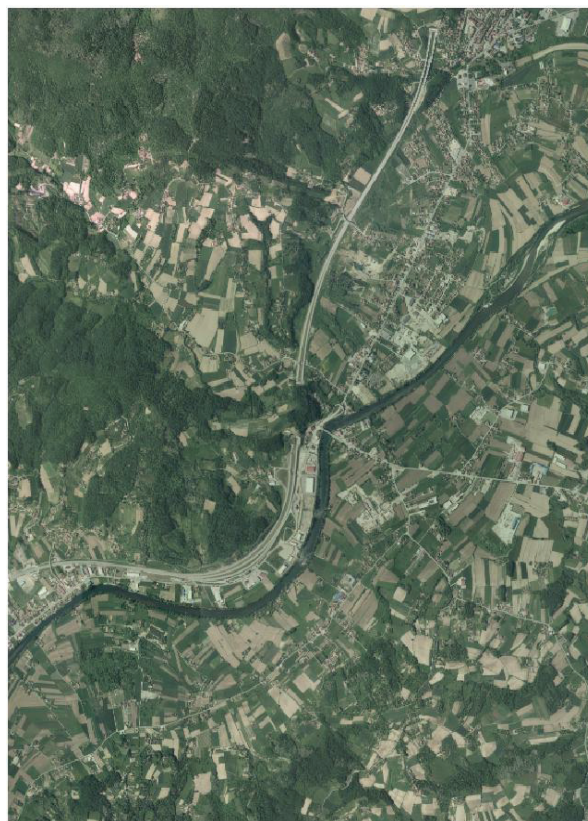
Грубе грешке код TIN чворова исправља тзв. *Blunder detection* алат. Посебни инструменти за глачање генерисаног TIN-а осигуравају висок квалитет генерисаног дигиталног модела висина и контурних линија. Препознатљива библиотека функција и могућност измјене TIN-а заједно представљају незамјенљив алат за успјешно креирање високо квалитетног дигиталног модела висина. OpenGL служи за убрзавање визуелних 3Д операција.



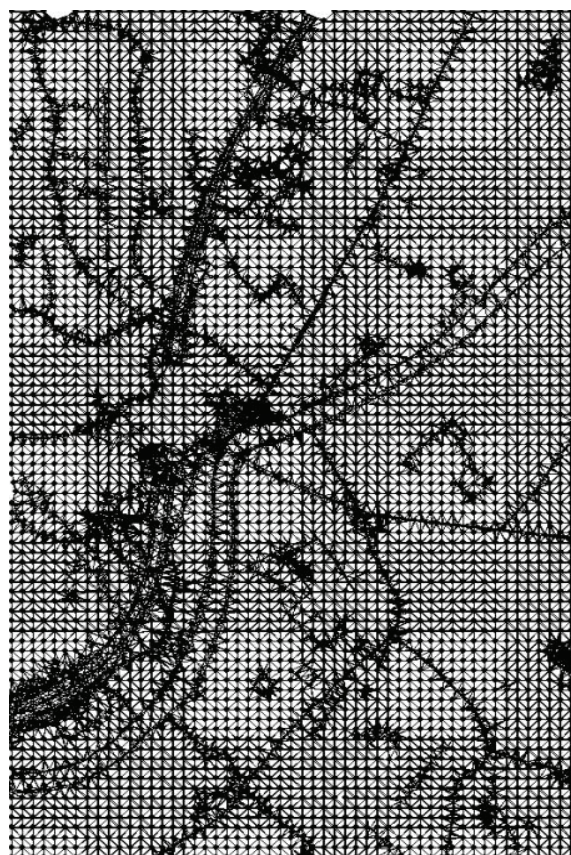
Слика 2: PHOTOMOD DTM [6]

Након успјешно реализованих поступака геореференцирања и орторектификације дигиталног аерофото снимка аутопута Бања Лука – Добој успјешно су добијени:

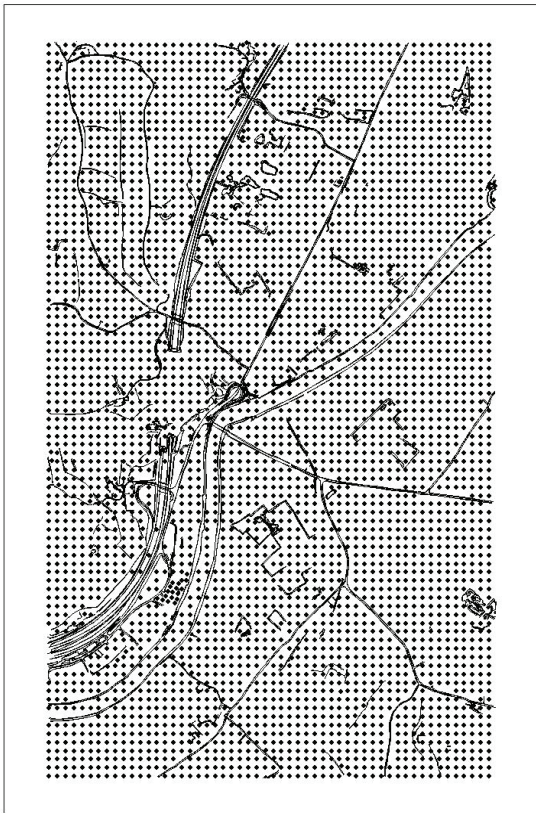
- Дигитални ортофото аутопута Бања Лука – Добој (Слика 3);
- TIN – добијен из структурних линија и тачака грида прикупљених за потребе израде DEM-а и генерисања изохипси (Слика 4);
- DTM – структурне линије и тачке грида прикупљене у стерео моделу (Слика 5);
- DTM – издвојене само тачке грида и додатне, појединачне тачке (Слика 6).



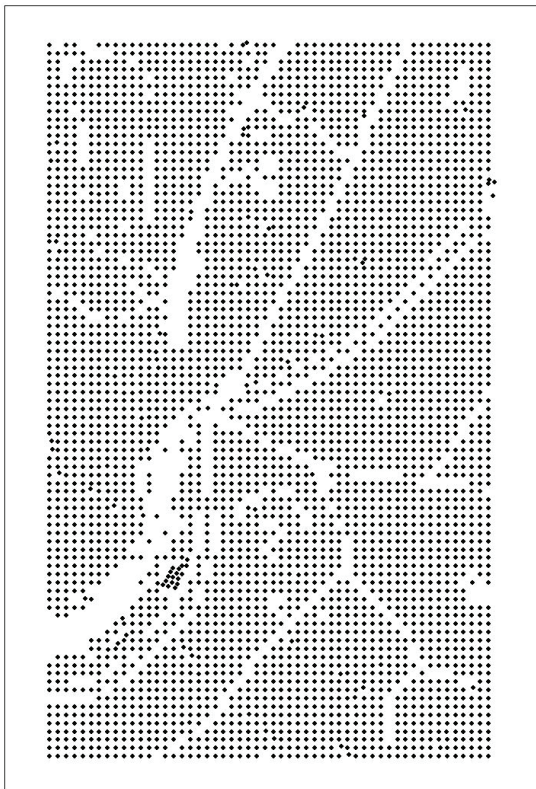
Слика 3: Дигитални ортофото аутопута Бања Лука – Добој



Слика 4: TIN – добијен из структурних линија и тачака грида прикупљених за потребе израде DEM-а и генерисања изохипси



Слика 5: DTM – структурне линије и тачке грида прикупљене у стерео моделу



Слика 6: DTM – издвојене само тачке грида и додатне, појединачне тачке

4. ЗАКЉУЧАК

Аерофотограметријско снимање је веома сложен и захтеван поступак, те као такав захтијева што бољи план и припрему за снимање, као и оптимизацију свих параметара водећи рачуна о прописаној тачности, терену и економичности.

Сви параметри, који се сагледавају при изради пројекта, могу се обрадити помоћу софтвера који значајно побољшавају квалитет рада и читав процес чине једноставнијим. Један од таквих софтвера је и Photomod који је кориштен у изради овог рада.

Геоинформациони системи су један од најперспективнијих информацијских технологија данашњице, узевши у обзир широки спектар могућности и подручја њихове примјене. Нарочито је изражен њихов значај у виду израде дигиталних модела терена и дигиталних модела висина.

Дигитални модели терена омогућавају повезивање података који су садржани у текстуалним базама података за јединичне или групне елементе слике терена и као такве истовремено представљају основу тродимензионалних приказа терена, односно њихову визуализацију у виду растерских или векторских слојева. Може се закључити да је данас готово незамисливо вршити било какву анализу података без геоинформационих система.

Замјеном класичних аналогних извора података дигиталним, а које су засноване на дигиталном моделу терена, са примјеном алгоритама за рачунање параметара за анализу, знатно је убрзан сам процес анализе терена. Предност дигиталних модела терена и дигиталних модела висина не огледа се само у уштеди средстава и времена, него и у могућности комплексније и квалитетније анализе самог терена, што у коначници представља битан услов за доношење правилних одлука при рјешавању различитих задатака.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gonzalez, R., Woods, R., Eddins, S., Digital image processing using MATLAB, Gatesmark Publishing, 2009.
- [2] Regodić, M., Sekulović, D., Ćirović G., Tadić V., Drobñjak, S., 2013, Comparative analysis of pixel-based and object-oriented classification b using multi-spectral Spot 5 images, TTEM,
- [3] Regodić M. Remote Sensing as a method ofcollecting space date. Military Tehnical Courier; 2008; 1: 91-112.
- [4] Ćirović G., Regodić M., Sekulović D., Tadić V., Gigović Lj.: „Worldview-1 satellite image processing for topographic maps content update”, Tehnički vjesnik 21, 2(2014), 333-339
- [5] <http://www.wild-heerbrugg.com>
- [6] <http://www.photomod.galantis.com>



ПРОМЕНЕ СПЕКТРАЛНИХ ВРЕДНОСТИ ДИГИТАЛНИХ LiDAR СНИМАКА

CHANGES SPECTRAL VALUE LiDAR DIGITAL IMAGES

МИОДРАГ РЕГОДИЋ

Војна академија, Београд, mregodic62@gmail.com

САЊА ЈАЋИМОВИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, sjacimovic@agfbl.org

СЛАВКО ВАСИЉЕВИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, svasiljevic@agfbl.org

МЛАДЕН АМОВИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, mamovic@agfbl.org

Резиме: Основне области обраде дигиталних снимака су поступци побољшања квалитета снимака, чиме се не поправља информациони садржај, већ се постиже да слика буде визуелно квалитетнија и погоднија за приказ, што се остварује кроз побољшање контраста, оклањање шума, изоштравање и бојење слике. Објекти који имају исту објективну вредност свјетлости (луминанце), могу изазвати различит субјективни осећај светлости (бригхтнесс) зависно од контраста. У овом раду ће бити представљено спектрално побољшање квалитета дигиталних снимака у боји, који су резултат снимања у инфрацрвеном подручју спектра електромагнетне енергије. Обрађивани су квалитетани дигитални LiDAR снимци високе просторне резолуције, што је омогућило успешну примену програмског пакета Matlab и добијени су врло јасни, прецизни и изражајни сликовни прикази.

Кључне речи: даљинска детекција, LiDAR, дигитални снимак, спектрално побољшање квалитета, Matlab

Abstract: The main areas of processing digital images are procedures to improve the quality of images, which is not improving information content, but ensures that the image is visually better and more suitable for display, which is achieved through improved contrast, noise removing, sharpen and coloring pictures. Objects that have the same objective value of luminance, may cause differences in the subjective sense of brightness depending on the contrast. This paper will be presented to spectral improve the quality of digital images in color, which are the result recording in the infrared region of the electromagnetic energy spectrum. Treated as high-quality Lidar digital images high spatial resolution, which enabled the successful application of Matlab and the results were very clear, precise and expressive image.

Keywords: remote sensing, Lidar, digital image, spectral improving the quality, Matlab

1. УВОД

Спектрално побољшање квалитета снимка се заснива на поступцима анализе дигиталних снимака. У жељи да се са што мање улазних података дође до валидних излазних података и на основу чињенице да су канали мултиспектралног снимка често међусобно упоредиви по садржају информација, развијен је метод спектралног побољшања снимка под називом анализа главних компоненти (principal components analysis). Упоредит се огледа како у визуелном, тако и у погледу дигиталних вриједности одговарајућих пиксела разматраних спектралних подручја [1].

Анализа главних компоненти се спроводи уз помоћ статистичког математичког апарата и графичких и табеларних приказа расподеле дигиталних вредности пиксела снимка, којима коришћени програм располаже у довољној мери [2].

Циљ анализе је да се узме p варијабли (X_1, X_2, \dots, X_p) и да се пронађе комбинација истих да би се израчунале нове варијабле (Z_1, Z_2, \dots, Z_p) које међусобно нису у корелацији и које ће описивати варијације података. Непостојање корелације значи да нове варијабле мере међусобно различите "димензије" података и њихове варијансе су поредане у опадајући низ ($\text{Var}(Z_1) \geq \text{Var}(Z_2) \geq \dots \geq \text{Var}(Z_p)$). Променљиве Z представљају, заправо, главне компоненте [3].

У раду су извршене промене у спектралном домену снимка плавног подручја реке Тисе добијен применом LiDAR технологије.

2. ОБРАДА ДИГИТАЛНИХ СНИМАКА ОСНОВНИМ ОПЕРАЦИЈАМА У МАТЛАВ-У

Постоји велики број софтвера намењених обради даљинско детектованих снимака. Помоћу таквих про-

грама могуће је побољшати квалитет снимка, повећати или смањивати контраст, вршити геометријску корекцију, комбиновати снимке добијене различитим сензорима и сл. Све ове операције имају само један циљ, а то је повећање квалитета снимка.

MATLAB је окружење за нумеричке прорачуне и програмски језик који производи фирма Math Works. MATLAB омогућава лако манипулисање матрицама, приказивање функција и фитовање, имплементацију алгоритама, стварање графичког корисничког интерфејса као и повезивање са програмима писаним у другим језицима.

Један од најзначајнијих MATLAB toolbox-ова је Image Processing Toolbox за дигиталну обраду снимака. Image Processing Toolbox нуди скуп референтних стандардних функција, алгоритама, апликација за обраду слике, анализу, визуелизацију и развој алгоритама.

У Image Processing Toolbox-у (IPT) налазе се функције специјализоване за приказивање, анализу, сегментацију слика, обраду и побољшање слика, уклањање шума, геометријске трансформације итд. Како би се видела листа свих функција у овом toolbox-у потребно је откуцати `help images` у MATLAB командној линији [5].

Процес побољшања снимка врши се истицањем финих елемената снимка, иначе тешко уочљивих. Побољшање квалитета снимка подељено је у три области:

- радиометријско (radiometric enhancement) побољшање контраста, развлачење и уједначавање хистограма и оптимизацију осветљености.
- Просторно побољшање (spatial enhancement)
- спектрално побољшање - анализа главних компоненти (principal components analysis).

Радиометријско побољшање обухвата побољшање контраста, развлачење и уједначавање хистограма, оптимизацију осветљености. Спектрално побољшање обухвата анализу главних компоненти [1].

Просторно побољшање снимка подразумева изоштравање, осредњавање и истицање линијских елемената и ивица. На овај начин се повећава квалитет визуелне презентације снимка и наглашени су тражени подаци. У просторном побољшању се узима у обзир, како посматрани пиксел, тако и пиксели у његовом окружењу [2].

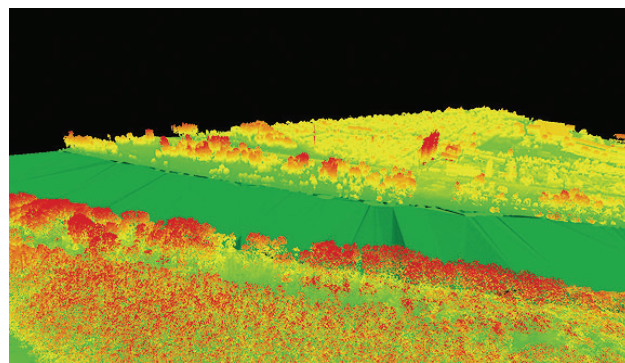
Поступак побољшања истицањем линијских елемената (edge enhancement) представља једно од широко употребљиваних просторних филтрирања. Заснован је на издвајању брзих промена дигиталних вредности од једног до другог пиксела [3].

У оквиру имплементације IGIS пројекта, у октобру 2012. године извршени су радови на прикупљању података применом LiDAR технологије за потребе израде високопрецизног дигиталног модела терена за плавно подручје реке Тисе, у површини од 1.870 km².

Ласерско скенирање из ваздуха је обављено уређајем Leica ALS70.

Густина прикупљених тачака у надиру приликом реализације ласерског скенирања износи 2,3 тачке/m², док растојање између прикупљених тачака у правцу линије лета и у правцу управном на линију лета износи 0,60, односно 0,70 m, чиме је обезбеђена адекватна густина и хомогеност у распореду прикупљених тачака за потребе израде високопрецизног дигиталног модела терена грида 1m.

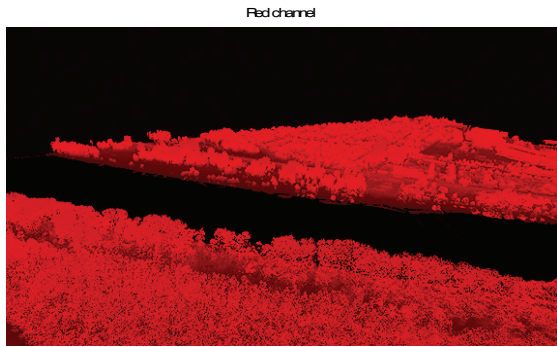
Упоредо са реализацијом ласерског скенирања, на 17 референтних подручја величине 20h20m лоцираних у оквиру пројектне области извршена су теренска мерења (GPS мерење методом RTK позиционирања, и нивелање истих тачака методом детаљног нивелмана за гредове тачака на растојању од 2 m, висинске тачности 5 cm), за потребе процесирања и контроле података прикупљених LiDAR технологијом.



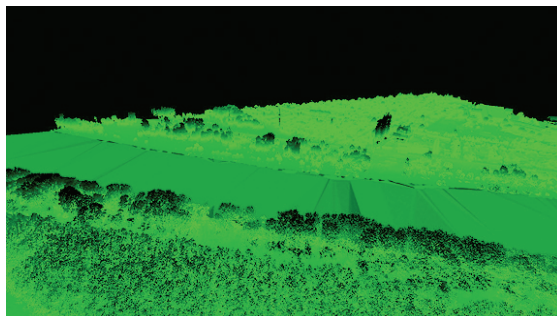
Слика 1: Снимак плавног подручја реке Тисе добијен применом LiDAR технологије

Дата оригинална слика на основу Matlab команди претвара се из RGB (Red-Green-Blue) варијанте у појединачне елементе црвене, зелене или плаве компоненте, те се спајају опет у оригиналну слику без нарушавања њених основних геометријских својстава и ниванси [4].

```
>> img = imread('tisa.jpg');
>> red = img(:,:,1);
>> green = img(:,:,2);
>> blue = img(:,:,3);
>> a = zeros(size(img, 1), size(img, 2));
>> just_red = cat(3, red, a, a);
>> just_green = cat(3, a, green, a);
>> just_blue = cat(3, a, a, blue);
>> back_to_original_img = cat(3, red, green, blue);
>> figure, imshow(img), title('Original image')
>> figure, imshow(just_red), title('Red channel')
>> figure, imshow(just_green), title('Green channel')
>> figure, imshow(just_blue), title('Blue channel')
```



Слика 2: Црвена компонента слике

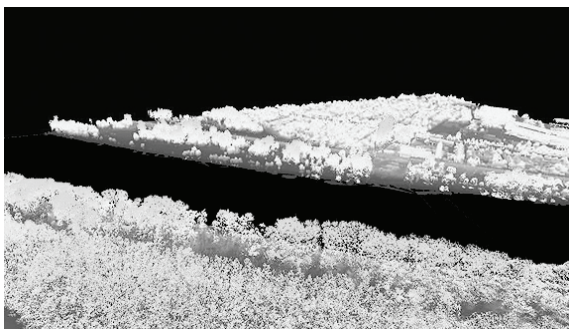


Слика 3: Зелена компонента слике

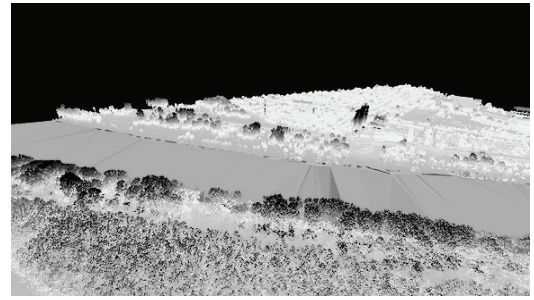


Слика 4: Плава компонента слике

Могу се изоловати све компоненте боја од стране colop оператора.



Слика 5: Снимак са изолованом црвеном компонентом

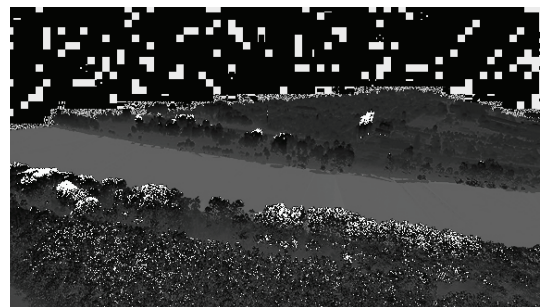


Слика 6: Снимак са изолованом зеленом компонентом

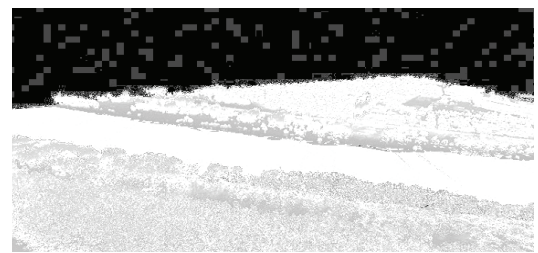


Слика 7: Снимак са изолованом плавом компонентом

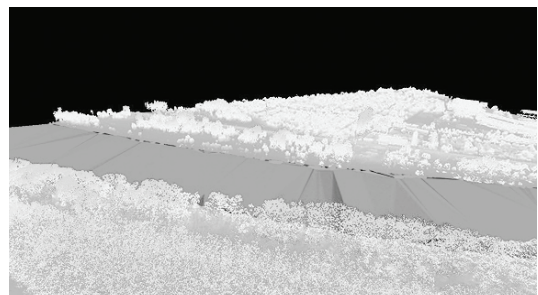
Изоловање свих компоненти боја може се извршити и помоћу xh оператора ($xh=rgb2hsv(x)$).



Слика 8: Снимак са изолованом црвеном компонентом

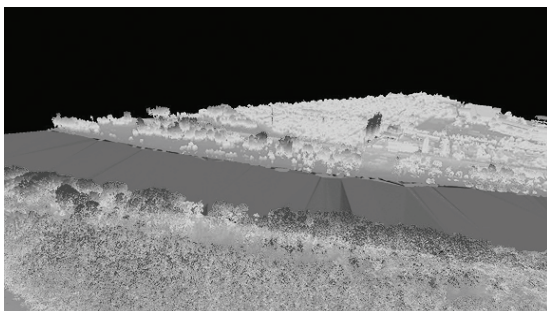


Слика 9: Снимак са изолованом зеленом компонентом

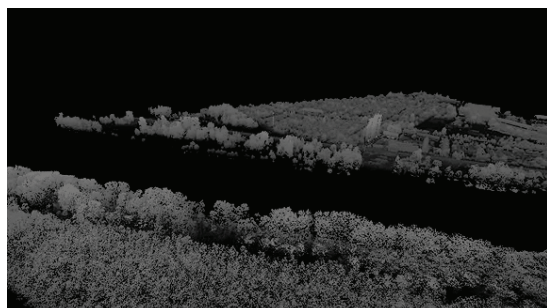


Слика 10: Снимак са изолованом плавом компонентом

Изоловање свих компоненти боја може се извршити и помоћу xp оператора $xp=rgb2ntsc(x)$.



Слика 11: Снимак са изолованом црвеном компонентом



Слика 12: Снимак са изолованом зеленом компонентом



Слика 13: Снимак са изолованом плавом компонентом

3. ЗАКЉУЧАК

Врло битну фазу у процесу обраде дигиталних снимака представља побољшање квалитета снимака. Побољшање квалитета снимака кориштењем програма Matlab показало је веома добре резултате у домену уочљивости објеката, дијелова снимка или његове цијеле површине. Побољшањем квалитета се олакшава визуелна анализа и интерпретација. Визуелно и квалитативно побољшани снимци су спремни за даљу дигиталну анализу у циљу добијања и интерпретације неопходних информација. Представљени резултати у оквиру овог рада, показују могућност успешне примене програмског пакета MATLAB у области обраде дигиталних снимака.

Спектрално побољшање квалитета снимка се заснива на поступцима анализе дигиталних снимака. То практично значи да се примјеном правилне рачунарске анализе може добити максимална количина квалитетних података и употребом мањег броја канала. Анализа се своди на утврђивање информација о спектралној сличности изабраних канала и приказивање резултата у виду новог снимка.

У раду је обрађиван дигитални LiDAR снимак плавног подручја реке Тисе добијен применом LiDAR технологије. Приказано је више техника побољшања слике примјеном РСА методе у Matlab-у. Применом рачунарских операција у Matlab-у дата слика се претвара у појединачне елементе црвене, зелене или плаве компоненте. Ови елементи могу се опет спојити у оригиналну слику, без нарушавања геометријских својстава. За добијање детаљних информација о слици одређујемо њен приказ спектра. Примјеном функција у Matlab-у могу се изоловати поједине компоненте боја слике.

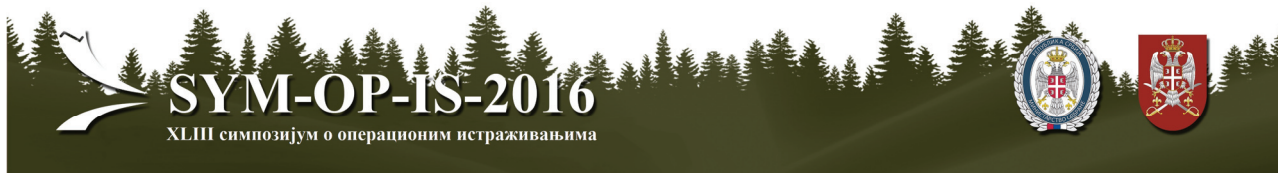
Побољшањем квалитета дигиталних снимака, знатно се поправља квалитет снимка у смислу боље читљивости, запажања и истицања детаља, те брже и јасније идентификације и класифиције жељених података. На тај начин се постиже много успешнија анализа и интерпретација садржаја снимка, што је од изузетне важности у свим областима снимања и примјене дигиталних снимака.

Визуелно и квалитативно побољшани снимци сада су спремни за даљу дигиталну анализу у циљу добијања и интерпретације информација неопходних за праћење стања плавног подручја реке и околине и за предузимање неопходних мера за заштиту и отклањање последица.

Резултати побољшања квалитета дигиталног снимка, који су добијени у оквиру експеримента реализованог у овом раду, показују да се методски поступци даљинске детекције могу успешно примењивати у поступку обраде снимака у области праћења многобројних природних појава.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gonzalez, R., Woods, R., Eddins, S., Digital image processing using MATLAB, Gatesmark Publishing, 2009.
- [2] Regodić, M., Sekulović, D., Ćirović G., Tadić V., Drobnyak, S., 2013, Comparative analysis of pixel-based and object-oriented classification b using multi-spectral Spot 5 images, TTEM,
- [3] Regodić M. Remote Sensing as a method of collecting space date. Military Tehnickal Courier; 2008; 1: 91-112.
- [4] Ćirović G., Regodić M., Sekulović D., Tadić V., Gigović Lj.: „Worldview-1 satellite image processing for topographic maps content update”, Tehnički vjesnik 21, 2(2014), 333-339
- [5] Digital Image Processing - Matlab & Simulink – MathWorks. Available at URL: www.mathworks.com/discovery/digital-image-processing.html



ТЕРЕНСКА ПРОВЕРА И ДОПУНА САДРЖАЈА ТОПОГРАФСКЕ КАРТЕ РАЗМЕРЕ 1:25000

TERRAIN CHECKING AND UPDATING THE CONTENT OF THE TOPOGRAPHIC MAP AT SCALE 1:25000

НИКОЛА БАБИЋ

Војногеографски институт, Београд, nikolababic@ikomline.net

СИНИША ДРОБЊАК

Војногеографски институт, Београд, sdrobnjak81@gmail.com

РАДОЈЕ БАНКОВИЋ

Војногеографски институт, Београд, radoje.bankovic@yahoo.com

Резиме: *Топографска карта у размери 1:25000 (ТК25) је производ Војногеографског института, заснован на ГИС технологији и премери терена дигиталном фотограмметријском технологијом која обухвата аерофото снимање терена, дигиталну фотограмметријску реституцију и картирање садржаја, проверу и допуну картираног садржаја на терену, финалну дигиталну картографску обраду и визуелизацију. У том технолошком ланцу изузетно важно место припада теренској провери и допуни садржаја, без које је топографска карта готово неупотребљива.*

Кључне речи: *Топографска карта, SQL дистрибуирана централна база података, теренска провера и допуна, оригинал, реплика, синхронизација.*

Abstract: *Digital topographic map at scale 1:25000 (DTM25) is a product of Military Geographical Institute, which is based on GIS technology and surveying by digital photogrammetrical technology and which includes areal surveying, digital photogrammetrical restitution, mapping, data checking and updating on the terrain, final cartographic processing and visualisation.*

Keywords: *Topographic map, SQL Distributed Central Geodatabase, terrain checking and updating, original, replica, synchronization*

1. УВОД

У смислу картографске производње, Топографска карта у размери 1:25000 (ТК25) представља основу и полазни картографски извор размерног низа топографских карата 1:50000 (ТК50), 1:100000 (ДТК100) и 1:250000 (ДТК250) и прегледнотопографских карата у размеру 1:500000 (ДПТК500) и 1:1000000 (ДПТК1000).

У корисничком смислу ТК25 је основна тактичка карта и база података на основу које се врши детаљно проучавање геопростора, пројектују инфраструктурни радови и израђују симулациони модели земљишта, изводе картометријски радови и врше анализе терена. База података о простору ТК25 интегрални је део Географског информационог система Војске Србије (ГИС ВС) и Националне инфраструктуре геопросторних података (НИГП).

Квалитет и поузданост информација ТК25 не могу се замислити без верификације у реалним, теренским

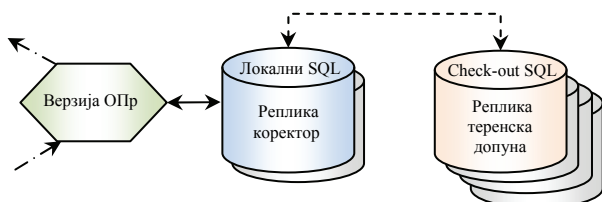
условима. Провера и допуна картираног садржаја одувек је била саставни део технолошког процеса израде ТК25. Ова активност не задира у проблеме математичке тачности, картографског моделовања садржаја или логичке структуре података, али може допринети њиховом унапређењу. Главни циљ ове технолошке фазе, која претходи завршној картографској обради података је квалитативна и једнозначна провера садржаја базе података ТК25, добијеног на основу фотограмметријске обраде аерофото снимака и уколико је неопходно, допуна садржаја детаљима насталим након завршетка фотограмметријске обраде.

2. ТЕРЕНСКА ПРОВЕРА И ДОПУНА САДРЖАЈА БАЗЕ ПОДАТАКА ТК25

Централна дистрибуирана SQL база ДТК25 заснована је на хијерархијско-релационом моделу података. Опште тематске целине исказане су логичким моделом података као тематске класе, у оквиру којих су организоване тематске табеле [1]. У свакој тематској табели једна или више колона намењена је за текст, на

основу којег се креирају анотације, као најкомплекснији тип података. Називи насељених места, предела и рељефних облика нису обични текстуални записи, већ су део јединствене базе података у оквиру опште тематске класе Називи [1].

Блок шема теренска провере и допуне садржаја Централне дистрибуиране SQL базе ДТК25 приказана је на слици 1, и њом је дефинисана посебна верзија на нивоу Централне дистрибуиране SQL базе ДТК25 намењена за унос садржаја теренске провере и допуне, која се назива Верзија ОПр [2].



Слика 1: Блок шема фазе теренске провере и допуне садржаја Централне ГБП

Садржај новог издања ТК25 не разликује се у начелу од садржаја претходног, али је модел података прилагођен раду са векторским елементима садржаја, који су рашчлањени на тематске целине (feature datasets) и повезани у јединствену геокодирану базу података. База података ДТК25 састоји се од 5 тематских целина (табела 1), унутар којих је сваки елемент садржаја дефинисан као тачка, линија, полигон или текст [3].

Табела 1: Број елемената садржаја базе података ТК25 разврстаних по објектним класама

Тематска класа	Тачкасти елементи	Линијски елементи	Полигоми
Називи	67	-	-
Герип	138	679	94
Хидрографија	17	198	32
Рељеф	4	18	7
Вегетација	3	3	8
УКУПНО	229	898	141

Теренска провера и допуна оригинала ТК25, у услови-ма тренутно достигнутог технолошког нивоа у Војно-географском институту не укључује могућност директних измена података у бази док је извршилац на терену. Тај процес се реализује накнадним уносом на основу прикупљених .shp тачкастих, линијских и површинских датотека, текстуалних записа и фотографија објеката (мостова, надвожњака и сл.).

Значајан извор за ажурирање базе ДТК25 представљају подаци које Војногеографски институт може да преузме од локалних предузећа и органа власти и становништва (подаци о електроенергетској и телекомуникационој мрежи, подаци о шумама, водама, објектима јавног значаја, планови регулације, статистички подаци и картографски називи). Националном стратегијом развоја инфраструктуре геопросторних података предвиђено је да сви релевантни субјекти учествују и сарађују у њеној изградњи, па у будућности треба очекивати развој стандардизованих процедура разме-

не података о простору, чиме би требали да ишчезну традиционални проблеми са којима се суочавају теренске екипе приликом прикупљања података о простору за које није довољно да буду само визуелно описани у бази података.

3. ПРИПРЕМА ЗА ТЕРЕНСКУ ПРОВЕРУ И ДОПУНУ ТК25

Припрема за теренску допуну ДТК25 има велики значај, јер од ње у највећој мери зависи успех, економичност и квалитет извођења теренских радова. Припрема за теренску допуну ДТК25 укључује [3]:

- 1) Креирање реплике оригинала из централне базе ДТК25 у којој ће извршилац уносити промене прикупљене на терену;
- 2) Формирање теренског елабората (радни картографски материјал у аналогном и дигиталном облику);
- 3) Топографска припрема извршилаца од стране надлежног стручног лица;
- 4) Лична припрема теренских извршилаца.

С обзиром на непроцењиви значај добро обаљене припреме за успешну реализацију теренске провере и допуне садржаја ТК25, мора се предвидети довољно времена за ту активност [4]. Минимално потребно време за припрему не сме бити мање од 1 час за сваких 25 км² територије коју је потребно проверити на терену. Рад на теренској провери и допуни садржаја ТК25 приказан је на слици 2 [2].



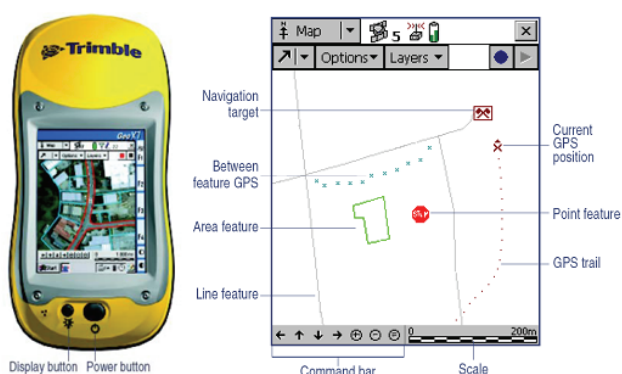
Слика 2: Теренска провера и допуна садржаја ТК25

Комплетан елаборат теренске допуне ДТК25 садржи:

- 1) креирани пројекат теренске провере и допуне – реплику Централне базе података;
- 2) датотеке садржаја снимљеног на терену ГПС уређајем погодним за ту намену;
- 3) олеагу назива и карту промене назива са списком назива за проверу;
- 4) карте теренске припреме и карту теренске допуне (стање пре и након теренске провере);
- 5) ортофото карту терена.

4. ПРИПРЕМА ГПС УРЕЂАЈА ЗА ТЕРЕНСКУ ПРОВЕРУ И ДОПУНУ ТК25

Trimble GeoXT је ручни (hand-held) једнофреквентни уређај из класе ГИС Data Logger уређаја. Карактеришу га прецизност од 3 до 5 метара у обе равни у аутономном моду мерења, односно од 0.8 до 1.5 метара уколико се користе диференцијалне корекције. Могуће је кодно и фазно мерење. Уређај има могућност аквизиције диференцијалних корекција у реалном времену, и то коришћењем екстерног комуникационог уређаја повезаног на GeoXT искључиво преко серијског (RS232) порта. Коришћење диференцијалне корекције у накнадној обради обавља се на рачунару, након трансфера података са уређаја и корекција са Интернета [5].



Слика 3: Изглед корисничког екрана ГПС уређаја Trimble Geoexplorer XM

Geoexplorer XM користи оперативни систем Windows CE. Апликације које се користе за прикупљање података су Terra Sync (фабрички) и Arc Pad (изабрани софтвер у ВГИ). Након покретања софтвера аутоматски се повезује ГПС пријемник, који потом почиње да тражи сателите. Комуникација корисника са програмом се обавља преко екранских тастера (слика 3), при чему се по потреби покреће и екранска тастатура.

Уређај је припремљен за теренску допуну уколико је [5]:

- ♣ креиран нови пројекат,
- ♣ подешен координатни систем,
- ♣ подешена прецизност читавања координата,
- ♣ учитане одговарајуће графичке датотеке (дигиталне подлоге),
- ♣ креиране табеле за уношење описних атрибута на основу којих ће за сваки снимљени детаљ у пост-процесинг обради бити изабран одговарајући знак из картографског кључа и остали подаци од значаја за ажурирање Централне базе података,
- ♣ проверена техничка исправност (батерије, опрема, пријем сателита) и
- ♣ еталониран и означен прописном налепницом.

За приказ података користи се геореференцирана карта као позадински лауер. Објекти на карти се приказују предвиђеним симболима. Кликом на симбол објек-

та, добијају се информације о координатама објекта, висини у изабраном систему висина (надморска, елипсоидна) и вредностима неких атрибута [6].

Приликом снимања детаља на терену, осим о атрибутским карактеристикама објекта, мора се водити рачуна и о тополошким правилима, што највише долази до изражаја код линијских елемената.

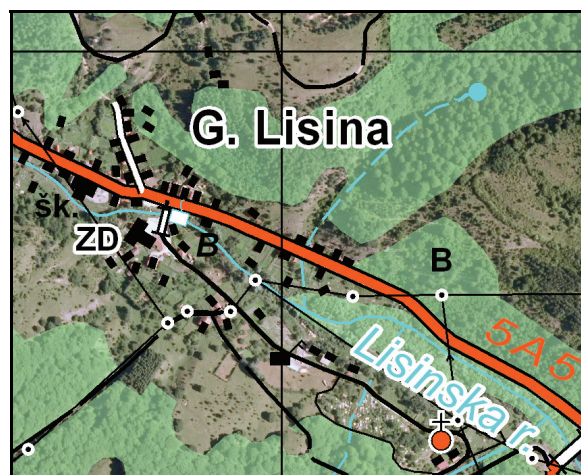
5. ПРИКУПЉАЊЕ ПОДАТАКА НА ТЕРЕНУ

Теренска допуна се обавља по плану сачињеном у периоду припреме. Од задатог плана може се одступити ако се установи да се на дотичној територији изводе радови који ће утицати на промене у садржају карте, а који ће до краја теренске допуне ће бити у фази која даје могућност уношења тих промена.

Критеријуми за измене и допуне садржаја дефинисани су упутством за израду ТК25. Један од полазних чинилаца који утичу на избор елемената је размер карте, а то је однос дужина и површина приказаних на карти 1:25 000 и у природи: 1mm на карти = 25m у природи; 1mm² на карти = 625m² у природи.

Упутством за израду ТК25 јасно дефинише који се елементи садржаја приказују у размеру, а који условним знаком, што највише зависи од површине приказаног природног или изграђеног објекта (ареала).

Извршиоци радова прикупљају податке сходно стварном стању на терену. Прикупљени подаци се уносе на лист теренске допуне, карту теренске допуне, ортофото, олеату промене назива, списак провере назива, радну свеску.



Слика 4: Изглед теренског пројекта са ортофото подлогом након уношења прикупљених података о путевима и објектима јавног значаја

Обрада података прикупљених на терену врши се свакодневно после теренске допуне. Сви подаци прикупљени на терену морају бити унесени у одговарајућу реплику Централне базе података ТК25 (визуелно као на слици 4). Сваки дан по повратку са терена прикупљени подаци из ГПС уређаја пребацују се у на РС рачунар, а затим се учитавају и у пројекат. Након

идентификације и избора одговарајућег знака из јединственог шифарника, у базу података се уносе текстуални и бројчано-словни подаци.

Један од обимнијих и често незахвалних послова је прикупљање података о географским називима. Прикупљају се само проверени и тачни називи, који на терену морају бити јасно исписани на олеати промене назива. Новоприкупљени називи се на олеати исписују на одговарајућом бојом фломастера. Приликом прикупљања података о називима насељених места мора се обезбедити најмање три независна и легитимна извора података, од којих је један општинска геодетска управа.

Након завршетка теренске провере и допуне садржаја ТК25 надлежно лице из Војногеографског института контролише да ли су сви подаци правилно прикупљени на терену и да ли су унети у базу података. Такође контролише да ли су теренски извршиоци поступили у складу са препорукама стручног лица које је вршило теренску припрему, да ли су проверени сви називи са списка назива предвиђених за проверу на терену и да ли су сви новоприкупљени и проверени називи исписани на олеати промене назива. Ако се установи да су сви подаци правилно прикупљени и унесени у базу података, промене у пројекту које су унесене у односу на садржај пројекта пре теренских радова синхронизују се у Централну базу података ТК25. Тиме престаје директан рад теренских извршилаца над репликом Централне базе података ТК25, али не и тумачење одређених решења која су примењена на терену која могу захтевати коректори или друга стручна лица у фази завршне картографске обраде.

6. ЗАКЉУЧАК

База података ТК25 има вишефункционалну намену у процесу прикупљања, управљања, анализе и презентације података који представљају садржај ДТК25 и осталих ДТК размерног низа. Поред захтева безбедности података и рационалног располагања ресурсима у оквиру рачунарске мреже ВГИ и расположивог хардвера и софтвера, она треба да допринесе решавању

важних научно-стручних проблема попут стандардизације производње и експлоатације ГТМ, динамичког спровођења измена садржаја ДТК25 у ДТК ситнијих размера и картографског генералисања.

Провера и допуна садржаја базе података ТК25 има одлучујући значај у погледу обезбеђења њеног квалитета и функционалности и представља један од најзначајних корака у технолошком ланцу израде ТК25. Због тога теренску проверу и допуну садржаја треба посматрати као процес помоћу којег је могуће посматрати одређене феномене у реалним условима и на основу повратних информација непрекидно побољшавати не само структуру и модел података у Централној бази података ТК25, него и осмишљавати функционалнији и економичнији приступ прикупљању, приказу, анализи и презентацији података који чине географски информациони систем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zeiler, M., *Modeling of our world*, Environmental Systems Research Institute, Inc, Redlands, California 1999.
- [2] Drobњak, S., Radoјčić, S., Božić, B., *Primena ISO 19157 standarda u tehnološkom procesu izrade digitalnih topografskih karata*, Tehnika, vol.66, br.4, str. 551-556, 2014.
- [3] Марковић, В., *Логички модел података дигиталне топографске карте у размери 1:25000*, Војногеографски институт, Београд, 2010.
- [4] Петерца, М., Рацетин, Ф., Радошевић, Н., Милисављевић, С., *Картографија*, Војногеографски институт, Београд, 1974.
- [5] Срдих, З., *Geoexplorer CE, основно упутство за руковање и одржавање*, Војноиздавачки завод, Београд, 2010.
- [6] Марковић, В., Милошевић, С., Алексић, Б., Јанковић, М., *Упутство за израду дигиталне топографске карте у размери 1:25000*, Војногеографски институт Београд, 2012.



ОБРАДА САТЕЛИТСКИХ СНИМАКА У ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ MATLAB

DIGITAL IMAGE PROCESSING USING MATLAB SOFTWARE

САЊА ЈАЋИМОВИЋ

Архитектонско - грађевинско - геодетски факултет, Бања Лука, sjacimovic@agfbl.org

МИОДРАГ РЕГОДИЋ

Војна академија, Београд, mregodic62@gmail.com

ЉУБОМИР ГИГОВИЋ

Војна академија, Београд, gigiviclj@gmail.com

Резиме: Захваљујући развоју сензора код даљинских истраживања и рачунарских технологија у протеклих неколико деценија, омогућено је праћење и санирање посљедица природних катастрофа попут поплава. Данашњи сателитски сензори пружају квалитетне просторне податке и обзиром на њихово континуирано снимање могуће је исто подручје пратити у различитим временским раздобљима. На тај начин се могу једноставно упоредити и анализирати снимци угрожених подручја пре и после поплава и уочити драстична промена стања на терену узрокована природним непогодама. Постоји велики број софтвера намењених за обраду сателитских снимака. У овом раду је приказана могућност просторног побољшања квалитета сателитског снимка истицањем граница поплављеног подручја у Славонском Шамцу применом алгоритма "the edge detection" за издвајање ивица на снимку у програмском пакету MATLAB употребом Image Processing Toolbox-a.

Кључне речи: поплаве, сателитски снимак, edge detection, MATLAB, Image Processing Toolbox

Abstract: By sensor development, in areas of remote sensing and computer technologies, in the last couple of decades, it is now feasible to monitor and repair the effects made by natural disasters such as floods. Nowadays, satellite sensors produce high quality spatial data, and by continuous recording of satellite sensors, it is now feasible to monitor the same area in different time intervals. By monitoring the same area in different time intervals, we can simply compare and analyze images of the affected areas before and after floods. Also, we can notice the dramatic changes, caused by natural disasters, in the observed areas. There are many software packages made for the digital image processing. In this paper, we showed that it is feasible to enhance the quality of satellite image by highlighting the edges of flooded area. We used satellite images of SlavonSKI Šamac for the application of "the edge detection" algorithm. This algorithm is used for highlighting edges on the image in MATLAB software package by using Image Processing Toolbox.

Keywords: floods, satellite image, edge detection, MATLAB, Image Processing Toolbox

1. УВОД

Забележен електромагнетни спектар или забележено зрачење које са собом носи електромагнетна енергија зове се једним именом снимак. Снимак се данас користи у многим областима људске делатности, како за аналитичке, тако и за мерне сврхе. Снимак представља значајан извор информација посматраног објекта, појаве или процеса. На основу снимка се добијају поуздане информације о променама на земљишту и објектима на њему.

Несавршеност платформи, система за снимање, утицај средине кроз коју су прошли електромагнетни зраци, закривљеност Земље, као и несавршеност сензора којима се врши снимање, доводе до тога да је снимак оптерећен деформацијама које је неопходно отклонити пре даљег процесирања. Ове деформације се огле-

дају у промени интензитета сивог тона пиксела које су проузроковане особинама терена, објекта или феномена који је снимљен, и погрешној релативној позицији пиксела у растерској матрици снимка. Ради што успешније интерпретације података снимци се обрађују уз коришћење великог броја програмских пакета намењених обради снимака добијених као резултат даљинских опажања.

Рачунараском обрадом се постижу знатна побољшања снимка. Помоћу таквих софтверских решења могуће је побољшати квалитет снимка, вршити геометријске корекције, побољшати контраст, извршити уједначавање свих делова једног или више снимака по интензитету осветљења и контраста, итд. Након отклањања деформација и увођења снимка у жељени координатни систем у даљем процесирању се приступа побољшању квалитета снимка и истицању података од инте-

реса. Процес побољшања снимка врши се истицањем финих елемената снимка, иначе тешко уочљивих.

Побољшање квалитета снимка подељено је у три области:

- радиометријско (radiometric enhancement) побољшање контраста, развлачење и уједначавање хистограма и оптимизацију осветљености
- просторно побољшање (spatial enhancement)
- спектрално побољшање – анализа главних компоненти (principal components analysis).

Радиометријско побољшање обухвата побољшање контраста, развлачење и уједначавање хистограма, оптимизацију осветљености. Спектрално побољшање обухвата анализу главних компоненти [2].

Просторно побољшање снимка подразумева изоштравање, осредњавање и истицање линијских елемената и ивица. На овај начин се повећава квалитет визуелне презентације снимка и наглашени су тражени подаци. [3].

Поступак побољшања истицањем линијских елемената (edge enhancement) представља једно од широко употребљиваних просторних филтрирања. Заснован је на издвајању брзих промена дигиталних вредности од једног до другог пиксела [4].

2. ОСНОВЕ КОРИШЋЕЊА MATLAB-А И IMAGE PROCESSING TOOLBOX-А У ДИГИТАЛНОЈ ОБРАДИ СЛИКА

MATLAB омогућава лако манипулисање матрицама, приказивање функција и фитовање, имплементацију алгоритама, стварање графичког корисничког интерфејса као и повезивање са програмима писаним у другим језицима. MATLAB представља најчешће коришћен пакет у својој области, а заснован је на нумеричком решавању проблема ослањајући се на матрични рачун као основу свога рада, те као такав представља интерактивни систем и програмски језик за опште научне и техничке проблеме.

Типична употреба MATLAB - а укључује:

- математику и рачунање,
- развој алгоритама,
- моделовање, симулацију и изградњу прототипова,
- анализу, обраду, визуелизацију података,
- научну и инжењерску графику,
- развој готових решења (апликација) са GUI (Graphical User Interface) алатима.

Уз основни пакет постоје и бројни програмски алати (toolboxes) који покривају готово сва подручја инжењерске делатности: обраду сигнала и слике, видео обрада, 2Д и 3Д графичко обликовање, аутоматско управљање, идентификацију система, статистичке обраде, неуронске мреже, финансијску математику, симболичку математику и много других.

Један од најзначајнијих MATLAB toolbox-ова је Image Processing Toolbox за дигиталну обраду снимака.

Image Processing Toolbox нуди скуп референтних стандардних функција, алгоритама, апликација за обраду слике, анализу, визуелизацију и развој алгоритама. У Image Processing Toolbox-у (IPT) налазе се функције специјализоване за приказивање, анализу, сегментацију слика, обраду и побољшање слика, уклањање шума, геометријске трансформације итд.

MATLAB меморише слику као матрицу. Сваком пикселу на слици одговара један елемент матрице. Нумеричка израчунавања у овом програмском пакету се обављају коришћењем класе double, па се у дигиталној обради слике ова класа често користи за репрезентацију вредности пиксела. У том случају се сваки елемент памти као 64-битни број у пливајућем зарезу. Међутим, на овај начин слике могу заузимати изузетно много меморије. Зато се у пракси чешће користе 8-битне и 16-битне репрезентације вредности пиксела. У MATLAB-у су ове репрезентације пиксела подржане класама uint 8 и uint 16 које омогућавају да се сваки елемент матрице (пиксел) меморише као 8-битни, односно 16-битни неозначени цели број. Поред ових за репрезентацију вредности пиксела користи се и класа logical.

У Image Processing Toolbox-у подржана су четири основна типа слика:

- индексиране слике,
- интензитетске слике,
- бинарне слике,
- RGB слике.

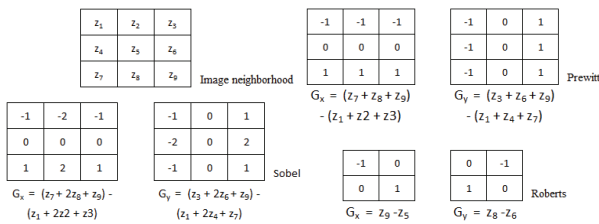
3. EDGE DETECTION КОРИШЋЕЊЕМ ФУНКЦИЈЕ EDGE

Ивица на слици је граница или контура на којој долази до значајних промена у неком од физичких аспеката снимка слике, као што су површинска рефлексија, осветљење или удаљеност видљиве површине од посматрача. Промене у физичком аспекту слике манифестују се у виду промене интензитета, боје и структуре слике.

При анализи објеката на снимку неопходно је разграничити објекте од интереса од остатка снимка. Техника која издваја објекте од интереса назива се сегментација. Две начешће коришћене технике сегментације су проналажење ивица - издвајање само оних пиксела који припадају рубовима објекта и thresholding - издвајање целог објекта од позадине придружујући пикселе чија је светлина испод неког прага позадини а остале објекту (или обрнуто) [5].

Одређивање (издвајање) ивица објеката на слици, односно истицање линијских елемената садржаја засновано је на коришћењу градијентних филтера којима се врши истицање ивица делова слике који имају карактеристичну наглашену промену осветљености, тј. нивоа сивог тона. Одређивање ивица на овај начин своди се на тражење максимума амплитуда градијената. Поступак се састоји из два корака. У првом се израчунава апроксимација деривације слике коришћењем одабраног градијентног филтера, а у другом се формира бинарна слика иви-

ца. Неки од градијентних филтера приказани су на слици 1 [1].



Слика 1: Градијентни филтери и њихове апроксимације деривација

У Image Processing Toolbox-у постоји функција *edge* која интегрише поменути два корака за одређивање ивица објеката на слици [1]. Синтакса ове функције је:

[ивице, праг] = *edge* (а, метод, праг, параметри);

Где је *a* слика на којој се одређују ивице, *метод* је стринг који означава изабрани метод одређивања ивица, *праг* је вредност прага који се користи при формирању бинарне слике, а *параметри* су параметри алгорита и разликују се за поједине методе. Вредност прага се не мора задати у случају да функција израчунава аутоматски. Излазни аргумент *ивице* представља бинарну слику ивица, са јединицама на мјестима где функција *edge* нађе ивице и са нулама на осталим местима а *праг* је употребљена вредност прага.

Функција *edge* подржава шест различитих метода за детекцију ивица:

- Sobel метода,
- Prewitt метода,
- Roberts метода,
- Laplacian of Gaussian метода,
- Zero-cross метода и
- Canny метода.

У овом раду су за истицање граница поплављеног подручја и осталих делова снимка коришћене Sobel, Prewitt, Roberts и Canny метода.

Како је слика функција двије варијабле, $f = (x, y)$ гдје су **x** и **y** просторне координате (у равни), а амплитуда f за било који пар координата (x, y) представља интензитет или нијансу сивог слике у тој тачки, градијент ове 2-Д функције је дефинисан као вектор [1]:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Sobel метода проналази ивице користећи градијентни филтер да апроксимира прве деривације G_x и G_y . Градијентни филтер приказан је на слици 1. Градијент коришћен у Sobel-овој методи рачуна се према следећем изразу:

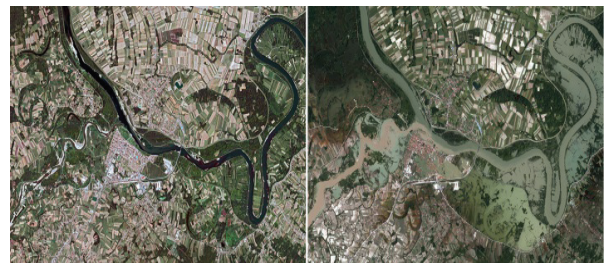
$$g = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} = \{ [(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)]^2 + [(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)]^2 \}^{1/2} \quad (2)$$

Prewitt и Roberts методе проналазе ивице користећи апроксимације Prewitt-ових и Roberts-ових деривација приказаних на слици 1. Ова два филтера дају прилично лошу локализацију и осетљиви су на шум.

Canny метода проналази ивице тражећи локални максимум градијента од $f(x, y)$. Градијент се рачуна коришћењем деривација Гаусовог филтера. Метод користи два прага осетљивости за детекцију јаких и слабих ивица, и укључује слабе ивице само у случају да су повезане са jakim ивицама. Због тога је овај метод најпоузданији, јер је мање осетљив на шум од осталих метода и поузданије ће открити слабе ивице [1].

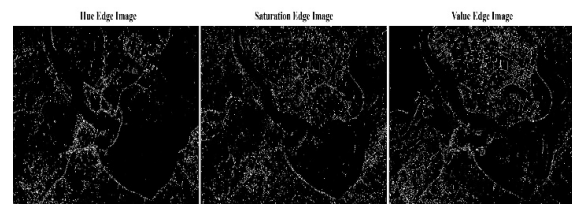
5. РЕЗУЛТАТИ ПРИМЕНЕ SOBEL, PREWITT, ROBERTS, CANNY МЕТОДЕ НА СНИМАК ПОПЛАВЉЕНОГ ПОДРУЧЈА

Средином маја 2014. године догодиле су се велике поплаве након падавина и снажног циклона који је захватио цео Балкан. Међу земљама у окружењу које су тешко погођене овим природним непогодама су Босна и Херцеговина и Хрватска. Упоредивши снимке из 2013. године и из маја 2014. године након изливања реке Саве из корита може се уочити угрожено насеље поплавама на подручју Славонског Шамца [6].

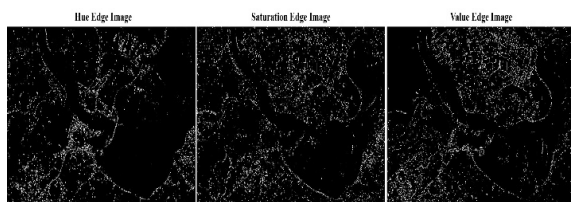


Слика 1: Сателитски снимци Славонског Шамца пре (лево) и после поплаве (десно)

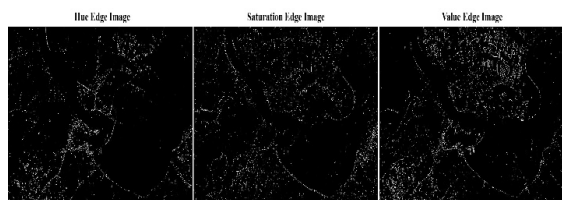
У наставку рада ће бити приказани резултати примене функције *edge* и метода Sobel, Prewitt, Roberts и Canny коришћењем одговарајућих команди у MATLAB-у. Ове функције су примењене на снимке осветљења (Hue image), слике засићења (Saturation image) и црно-белу слику (Value image).



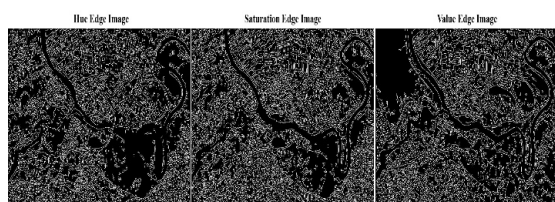
Слика 2: Снимци Hue, Saturation и Value након примене функције *edge* и методе Sobel



Слика 3: Снимци Hue, Saturation и Value након примене функције edge и методе Prewitt



Слика 4: Снимци Hue, Saturation и Value након примене функције edge и методе Roberts



Слика 5: Снимци Hue, Saturation и Value након примене функције edge и методе Canny

На основу визуелног поређења резултата добијених користећи поменуте методе, може се закључити да Canny метода даје најбоље резултате за истицање граница поплављеног подручја и то за снимак осветљења (Hue image).



Слика 6: Снимак Hue image након примене функције edge и методе Canny



Слика 7: Снимак Славонског Шамца са истакнутим границама поплављеног подручја и осталим објектима

5. ЗАКЉУЧАК

Употреба сателитских снимака у случају елементарних непогода на ефикасан начин обезбеђује информације о обиму угрожених подручја и интензитету непогоде, које су од изузетног значаја при планирању система заштите као и у процесу санирања последица.

Поступци побољшања квалитета снимака заснивају на примени скупа математичких операција у оквиру програмских пакета и софтвера које имају за циљ побољшање уочљивости објеката на снимцима, делова снимака или његове целе површине, повећавање или смањивање контраста, геометријску корекцију, комбиновање снимака добијених различитим сензорима, и сл.

Представљени резултати у оквиру овог рада, показују могућност успешне примене програмског пакета MATLAB у области обраде дигиталних снимака.

Техника сегментације у области дигиталне обраде снимака постаје све популарнија, с обзиром на многобројне могућности примене. Постоји велики број алгоритама сегментације слика, а у овом раду је описана једна од њих, тј. сегментација коришћењем функције edge.

На основу добијених резултата применом филтера за детектовање ивица може се закључити да се Roberts-овим и Prewitt-овим филтером добијају слични резултати док се Sobel-ов филтер показао као најлошији. Canny филтер се у овом случају показао као најбољи детектор ивица јер даје највернији приказ што је и суштина самог edge филтрирања.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gonzalez, R., Woods, R., Eddins, S., Digital image processing using MATLAB, Gatesmark Publishing, 2009.
- [2] Regodić, M., Sekulović, D., Ćirović G., Tadić V., Drobnjak, S., 2013, Comparative analysis of pixel-based and object-oriented classification b using multi-spectral Spot 5 images, TTEM,
- [3] Regodić M. Remote Sensing as a method of collecting space date. Military Technical Courier; 2008; 1: 91-112.
- [4] Ćirović G., Regodić M., Sekulović D., Tadić V., Gigović Lj.: „Worldview-1 satellite image processing for topographic maps content update”, Tehnički vjesnik 21, 2(2014), 333-339
- [5] <http://www.mathworks.com/help/images/>
- [6] <http://www.intelligence-airbusds.com/en/5750-image-gallery-search-results?world=1184>

ГРАЂЕВИНАРСТВО



УПРАВЉАЊЕ ПОДАЦИМА ЗА ПРОЦЕНУ ШТЕТЕ ПОСЛЕ ВРЕМЕНСКИХ НЕПОГОДА

DATA MANAGEMENT FOR ASSESSING DAMAGE AFTER WEATHER DISASTERS

АЛЕКСАНДАР КОСТИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа струковних студија у Београду
e-mail: a.sale.kostic@gmail.com

СЛОБОДАН СТАНАРЕВИЋ

Институт за грађевинарство "ИГ", Бања Лука,
e-mail: sss@institutig.com

Резиме: Климатске промене подразумевају да се екстремне временске непогоде дешавају све чешће од којих неке све чешће погађају земље региона и нашу земљу. Према предвиђањима светских метеоролога, на простору региона у следећих 100 година клима ће се значајно променити. Климатска слика будућности најављује све већи број елементарних непогода попут поплава, јаких ветрова и сл. У таквим условима, штета је неизбежна, али управљање подацима за процену штете може у знатној мери утицати на смањење штете у наредним периодима и да се предузимају прописане и дефинисане мере на заштити оштићених вредности (становништва и материјалних/културних добара), да се отклоне уочени недостаци и слабости и да се безбедност подигне на виши ниво.

Кључне речи: Грађевинарство, процена непокретности, штете, управљање

Abstract: Climate change means that extreme weather disasters happen more and more often, some of which increasingly affect the countries of this region and our country. According to the forecasts of world meteorologists, in the next 100 years the climate will be significantly changed within the area of the region. Climate picture of the future announces the increasing number of natural disasters such as floods, strong winds, etc. In such circumstances the damage is imminent, but data management for damage assessing may substantially affect the damage reduction in future periods, and enable us to take the prescribed and defined measures on the protection of damaged values (population and material / cultural goods) in order to rectify the perceived deficiencies and weaknesses and to raise security to a higher level.

Key words: construction, real estate evaluation, damage, management

1. УВОД

Маја 2014. године Србију су погодиле поплаве које су проузроковале штету процењену на милијарду и 532 милиона евра, у којима је живот изгубила 51 особа, од којих се 24 утопило (Влада РС1). Поплавним таласом највише су погођене општине Обреновац, Свилајнац, Параћин и Крупањ, где су, осим поплаве, велике проблеме и штету причинила и клизишта.

Влада Републике Србије је 15. маја донела Одлуку о проглашењу ванредне ситуације због наступања елементарне непогоде – поплаве (на основу члана 32. става 3. Закона о ванредним ситуацијама, Сл. гласник РС, бр. 111/2009, 92/2011 и 93/2012), која је на територији читаве Републике била на снази до 23. маја.

2. КРАТАК ПРЕГЛЕД ШТЕТА И ГУБИТАКА

Штета се утврђује као вредност уништених трајне физичке имовине, која се процењује као цена коју треба платити за поправку или поновну изградњу објеката са истим карактеристикама које су ти објекти имали пре поплава. Губици представљају промену у вредности производње добара и услуга као и промену цене производње истих, и обично укључују опадање у обиму производње и веће него уобичајене цене производње.

Процењено је да укупна вредност уништених добара у 24 погођене општине које су обухваћене Проценом износи 885 милиона евра и да вредност губитака износи 640 милиона евра, што даје укупан износ од 1.525

милиона евра као што је приказано у табели 1. Ова цифра представља око 3% укупног бруто домаћег производа читаве земље, и пружа увид у размере катастрофе које су изазвале поплаве и клизишта.[1]

Када се узму у обзир неке општине које нису обухваћене проценом потреба у процесу обнове а које су погођене у мањем обиму, процењена вредност штета и губитака би требало да се повећа са 1.7 на 1.8 милиона евра.

Треба нагласити да од укупних последица поплава, 57% представља вредност уништених добара које је потребно поправити или обновити, док губици у производњи представљају осталих 43%.

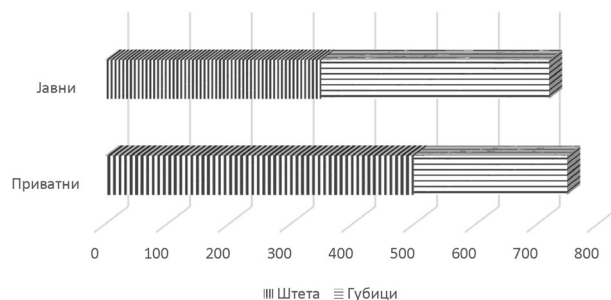
Табела 1. Процена укупне вредности штете и губитака које су изазвале поплаве[1]

		Ефекти поплава изражени у милионима евра		
		Штета	Губици	Укупно*
Социјални		234,6	7,1	241,7
	Становање	227,3	3,7	230,9
	Образовање	3,4	0,1	3,5
	Здравство	3,0	2,7	5,7
	Култура	1,0	0,6	1,6
Производни		516,1	547,6	1.063,6
	Пољопривреда	107,9	120,1	228,0
	Производња	56,1	64,9	121,0
	Трговина	169,6	55,2	224,8
	Туризам	0,6	1,6	2,2
	Рударство и енергетика	181,9	305,8	487,7
Инфраструктура		117,3	74,8	192,1
	Саобраћај	96,0	70,4	166,5
	Комуникације	8,9	1,1	10,0
	Водоснабдевање и чистоћа	12,4	3,2	15,7
Општи проблеми		17,2	10,6	27,9
	Животна средина	10,6	10,1	20,6
	Управљање	6,7	0,6	7,2
Укупно		885,2	640,1	1.525,3

* Услед заокруживања неких цифара, ставке под „Укупно“ се не поклапају увек.

Јавни и приватни сектор су на различите начине погођени поплавама, иако је њихово односно учешће у штетама и губицима прилично слично. Када се погледа колико су поплаве погодиле који сектор, може се рећи да је приватни сектор претрпео већу штету него јавни сектор, а да је јавни сектор претрпео веће губитке. Слика 1. приказује утицај који су поплаве имале на јавне и на приватне субјекте и пружа увид у прве показатеље напора које сваки од сектора мора да уложи у фази после поплава у процесу обнове и санације. [1]

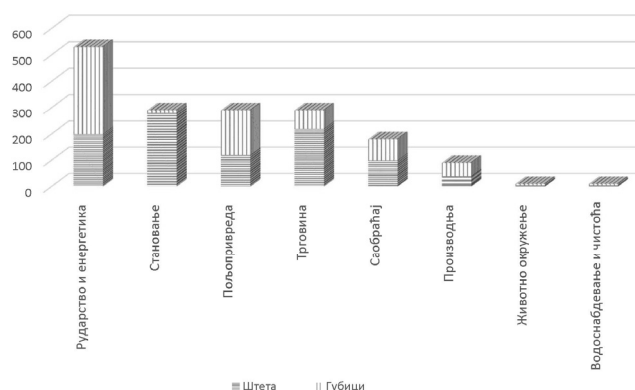
Последице поплава изражене у милионима евра



Слика 1. Последице поплава у приватном и у јавном сектору[1]

Ефекти поплава на различите секторе економске и социјалне активности варирају од катастрофе до катастрофе и од земље до земље. У случају Србије, ефекти поплава су углавном концентрисани у главним производним секторима (на пример, пољопривреда, индустрија, трговина и рударство), иза којих следе социјални сектори (становање, образовање, здравство), док сектори различитих инфраструктура заостају за овим другим секторима.

Последице поплава изражене у милионима евра



Слика 2. Расподела штете и губитака по секторима[1]

Пре него што се крене даље, треба нагласити да је процењена вредност штете у погођеним областима еквивалентна цифри од 13,8% вредности фиксног формирања капитала у Србији у 2013. години. Ова сразмера представља почетни показатељ тога да се обнова не може извршити током само једне календарске године, јер земља нема капацитета да то уради; већ је врло вероватно да ће процес обнове морати да се растегне на период од три године.

Коначно, ако се упореди укупна вредност штете и губитака са укупним становништвом земље, може се рећи да је свака особа претрпела просечну штету од око 210 евра по глави становника.

3. УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЦЕНА ШТЕТЕ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Информације су кључни ресурс у свакој пословној активности. Истраживачи, софтверски инжењери и

практични корисници примењују данас информационе технологије да би аутоматизовали различите делове грађевинског процеса.[6]

Коришћење информационих технологија у грађевинарству постало је изразито софистицирано коришћењем виртуалне реалности, система заснованих на знању, објектно-оријентисаним приступом и неуронским мрежама.

Важно је приметити да савремене информационе технологије омогућавају стратешки приступ у пословању, а не само аутоматизацију савремених мануелних процеса. Због тога је посебно значајно сагледати како се може бити више стратешки оријентисан при употреби информационих технологија унутар грађевинарства коришћењем процесног приступа активностима [6].

Примена информационих технологија омогућава дефинисање опште процесне структуре у грађевинарству које идентификују блокаторе и елиминаторе и формира радни план за процесне промене у грађевинарству.

Насупрот многим мишљењима да су нови менаџерски методи непримењиви у грађевинарству у појединим студијама се дефинишу специфичне технике које су прилагођене грађевинарству и које дају решења проблема који су карактеристични за грађевинарство. Резултат је нацрт оквира за процесну стратегију потпогнуту информационим технологијама и радни план за процесне промене у грађевинарству.

Овај нацрт радног плана предвиђа идентификацију препрека и предлог решења потребних за остварење критичних фактора успеха у суштинским процесима и процесима подршке.

То укључује велики број активности [5]:

- трансфер процесно базираних метода из других индустрија;
- коришћење међудисциплинарног удруживања у току рада;
- коришћење оцењивања и поређења са најбољим примерима из праксе;
- развој кључних технологија;
- прихватање индустријских стандарда;
- примену пилот студија;
- започињање многих истраживачких студија.

Једна од области грађевинарства у којој је дошло до најраније и најдубље примене информационих технологија је област **процењивања**.

Системи базирани на моделовању трошкова и приступи базирани на базама знања који су били резултат претходно обављених истраживања, имали су већ своју примену и у пракси.

4. ПРИМЕНА ИТ У ПРОЦЕНАМА ШТЕТЕ УСЛЕД ПОПЛАВА

Једна од ИТ која може бити веома корисна приликом процена угрожености одређених подручја пре поплава, као и процени штете након поплава је и сателитска технологија. [4]

У случају поплава, коришћење сателитских података има примену пре кризне ситуације - за процене угрожености одређених подручја, и после кризне ситуације - за тачну процену обима и угрожености подручја које омогућава брзу реакцију надлежних служби.

Приликом израде процене угрожености, оптичким сателитом се снима шире подручје дуж тока реке те се добијени подаци дигиталног модела рељефа и ортофото снимци терена користе као подлога хидролошким моделима у геоинформацијском систему. Уз статистичке податке о насељености и већ забележене поплаве на том подручју, они дају квалитетнију слику колико је неко подручје изложено ризику од поплава.

На тај начин се омогућава доношење правовремених одлука о појачању насипа или повећању ретенционих својства терена где је могуће.

Различите опције које стоје на располагању доносиоцима одлука могу се имплементирати у тај исти информациони систем и интегрисати у систем који стоји на располагању цивилној заштити, како би се приликом потенцијалне поплаве што пре препознале ослабљене тачке система и за угрожена подручја осигура-ла помоћ.

У случајевима поплаве од изузетне је важности да информациони систем, који служи као подлога за доношење одлука, садржи тачне и прецизне податке са омогућеним моделирањем опасних ситуација како би правовремена реакција, уколико се на неком подручју поплава не може спречити, барем умањила некад ненадоднадиву штету. У случају када количина падавина у комбинацији са zasiћености тла водом и већ повишеним водостајима река неизбежно доведе до поплаве неког подручја, важно је обезбедити „real time“ радарске сателитске снимке и геоинформацијске податке који подижу ефикасност координације цивилне заштите и тимова за спасавање.

Решења за цивилну заштиту фокусирана су на помоћ здравственим, ватрогасним и полицијским јединицама да убрзају одазив и повећају оперативну ефикасност у комбинацији са већ постојећим информационим системом који садржи „нормално“ стање на терену и кроз процену угрожености дефинисане слабе тачке.

Због глобалних климатских промена, све већи интензитет и фреквентност екстремних временских непогода попут урагана, поплава и олуја, угрожава све већи број подручја

Све локације људства и возила доступне су кроз оперативно планирање, податке о мобилности и комуникације те интегрисани геоинформацијски систем са стањем на терену и анализираним угроженим подручјима. Поуздане и ажурне геоинформације од виталног су значаја за хуманитарне службе широм света за процену штета од катастрофа, за надзор комплексних криза и редуковање времена реаговања и штета. [4]

Екстремни временски услови све чешће узрокују кризне ситуације чак и у областима која су некад била сматрана климатски стабилнима, и доводе до страдања и огромних штета. Природни процеси и механизми се не могу зауставити, али се њихово разорно деловање може ограничити правовремено успостављањем система који се базира на анализирању слабих тачака и моделирању могућих сценарија, како би се добио што бољи увид у потенцијалне опасности које повишени водостај, или падавине, доносе са собом.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу прикупљања података о проценама штета насталих услед временских непогода и креирање јединственог информационог система, могуће је знатно избећи стварање нових ризика као и смањење постојећих кроз активности попут: коришћење процена опасности/ризика приликом прављења одабира одговарајућих локација и приоритетног списка инфра-

структуре у опасности; и спровођење анализа упоређивањем трошкова и користи (енгл. cost-benefit analysis) у случају предузимања потенцијалних интервенција за смањење ризика, имајући у виду њихове социјалне утицаје и дејство на животну средину.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Влада републике Србије**, *Извештај о процени потреба за опоравак и обнову последица поплава*, Београд, 2014
- [2] **Прерадовић, Љ, Дејановић, Р**, *Информационе технологије за градитеље*, Архитектонско-грађевински факултет, Бања Лука, 2014.
- [3] **Прерадовић, Љ., Дејановић, Р.**, *Софтверски инжењеринг*, Архитектонско-грађевински факултет, Универзитет у Бањој Луци, 2010.
- [4] **Михаљевић, А**, *Сателитске технологије у борби против поплава*, Свет безбедности бр. 3, Тестус, 2014.
- [5] **Цекић, З.**, *Интернационално грађевинарство*, Грађевинска књига, Београд, 2006.
- [6] **Betts, M., Clark, A. and Ofori, G.** The Importance of New Approaches to Management, in M. Betts (ed), *Strategic Management of IT in Construction*, Blackwell Science, Oxford, 1999, pp. 3-13



ОПТИМИЗАЦИЈА У ПРОЦЕСУ ПРОЈЕКТОВАЊА ЗГРАДА, ДЕФИНИЦИЈА ПРОБЛЕМА

OPTIMAL BUILDING DESIGN PROCESS, PROBLEM DEFINITION

ГОРАН ЂИРОВИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд cigovic@sezampro.rs

СНЕЖАНА МИТРОВИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, mitrozs@sezampro.rs

ДРАГАН НИКОЛИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, dotrun.bgd@gmail.com

Резиме: Многи аспекти укупног учинка зграде зависе од одлука у раној фази процеса пројектовања. Често се сматра да су трошкови пројектовања и изградње најбитнији пројектантски параметар. Циљ овог рада је да се прикаже методологија пројектовања зграда која омогућава изградњу оптималног објекта у раним фазама процеса пројектовања. Сврха оптималног пројектовања је да се постигне пројекат исплативог објекта са добрим перформансама.

Кључне речи: Оптимално пројектовање зграда, ограничења при пројектовању зграда, трошкови изградње

Abstract: Many aspects of the overall building performance depend on the decisions at an early stage of the design process. It is often considered that the design and construction costs are the most important design parameter. The aim of this paper is to present the building design methodology that allows the construction of optimum facilities in the early stages of the design process. The purpose of optimal design is to achieve cost-effective project facility with good performance.

Keywords: Optimal building design, the limitations in the building design, construction costs

1. УВОД

Пројектантски тимови се труде да створе објекте који ће омогућити конфор будућих корисника. Сходно томе свака зграда пролази кроз промене током времена. Потребне људи се мењају, простори могу променити намену. Иако добре за становање или посао, ове промене могу негативно да утичу на перформансе изграђеног објекта, што доводи до смањења продуктивности и захтева више енергије за одржавање зграда, као и повећање трошкова.

Многи аспекти укупног учинка зграде зависе од одлука у раној фази процеса пројектовања. Ове одлуке су често донешене у складу са важним аспектима пословања, као што су употреба енергије, живот у затвореном простору или трошкови животног циклуса. Ове перформансе се често не анализирају до тренутка усвајања главног пројекта зграде. У овој фази процеса пројектовања само мале измене у пројекту зграде су могуће, док велике промене често резултирају и великим додатним трошковима. На пр., често се предузимају мере за побољшање унутрашњег окружења тек након што је зграда добила употребну дозволу, чиме се повећава потрошња енергије, а тиме повећавају и оперативни трошкови. Да би се побољшале перформансе зграде, важно је да се развију алати за пројектовање који се могу користити за процену аспеката перформанси грађевинских пројеката у раним фазама

процеса пројектовања, где пројектант зграда још увек има слободу да изабере између готово неограниченог броја различитих могућих пројектантских решења. Објекти се изграђују да реше потребе будућих корисника и треба да буду испројектовани у складу са тим потребама. Цео процес пројектовања и изградње тече у складу са нормативима и стандардима у грађевинарству, као и грађевинском регулативом. Енергетске перформансе зграде су такође регулисане грађевинском регулативом. Савремени објекти типа зграда понашају се као живи системи који утичу на животну средину на разне начине. Троше велике количине физичких ресурса као што су материјали, енергија и новац за њихову изградњу, одржавање и коришћење, али могу довести и до других ефеката који лоше утичу на околину, па чак и здравље људи, а који су тешко проценљиви. Зграде користе ресурсе као што су енергија, вода и сировине, стварају отпад (током изградње, одржавања и рушења) и емитују потенцијално штетне атмосферске гасове [1].

Често се сматра да су трошкови пројектовања и изградње најбитнији пројектантски параметар. Данашња трошковна евалуација се углавном фокусира на трошкове инвестиције, без много освртања на будуће трошкове одржавања. Трошкови који се нагомилавају током експлоатације зграде могу бити такви да умањују бенефите који се јављају у почетку коришћења

објекта. Иницијативе које смањују будуће трошкове (на пр. уштеда енергије, побољшана трајност грађевинских материјала и компоненти) често резултира већим инвестиционим трошковима. Ако будући трошкови нису укључени у процену, ове иницијативе се не може спровести. Дакле, укупни трошкови различитих грађевинских пројеката би требало да се процењују на основу трошкова животног циклуса (LCC), који укључују све трошкове и приходе током животног века зграде. LCC се може проценити коришћењем *Нето садашње вредности* калкулације где су сви будући трошкови и приходи сведени на заједничку референцу за поређење. Овим приступом могуће је упоредити економски учинак неколико алтернатива, иако дистрибуција пратећих трошкова кроз време може бити различита. Правилна процена учинка различитих пројектантских решења може захтевати коришћење компјутерске симулације где за дефинисање проблема и варијације параметара може бити неопходно много времена. Такође, анализа бројних варијација параметра не мора да доведе до оптималног решења, јер утицај различитих параметара на рад може бити тешко разумљив. Циљ овог рада је да се прикаже методологија пројектовања зграда која омогућава изградњу оптималног објекта у раним фазама процеса пројектовања. Сврха оптималног пројектовања је да се постигне пројекат исплативог објекта са добрим перформансама. То значи да је оптимални пројекат зграде у датом случају мора да испуни захтеве изнесене од стране друштва и корисника објекта уз минималне трошкове. Процена трошкова се заснива на прорачунима трошкова животног циклуса. Оптимизација се врши у односу на друге аспекте перформанси као што су коришћење енергије и затворена животна средина.

2. ГРАЂЕВИНСКИ ПРОЈЕКТИ

У грађевинским пројектима поступак израде је подељен у фазе које чине низ активности. Следеће фазе су укључене у типичном процесу пројектовања:

- Програмирање
- Предлог
- Пројекат

Процес пројектовања покреће фаза програмирања. У овој фази потребе и идеје власника зграде се анализирају да би се идентификовале. На основу овог се сачињава нацрт пројекта зграде и формира се писани програм који садржи схематске извештаје и цртеже који се баве свим питањима битним за спровођење изградње. Предлог прилагођава детаљни пројекат зграде са наводима у писаном програму. Предлог је детаљан у таквој мери да су све одлуке од пресудног значаја за изградњу тако наведене да представљају и део решења. На основу предлога пројекта недвосмислено се поставља детаљи пројекта зграде. У табели 1 дат је приказ организационе и унапређене шеме процеса пројектовања и извођења радова на грађевинском пројекту. Традиционална организација не укључује извођаче, произвођаче и добављаче у пројектној фази. Ово представља проблем за праћење трошкова и одабир специфичног пројектантског решења током процеса пројектовања и обично резултира додатном фа-

зом у којој се догађа преговарање између учесника у пројекту да би се трошкови задржали у оквиру буџета. У овој фази, нема много места за измене, обзиром да су већ усвојени детаљи на пројекту.

Табела 1: Традиционална и унапређена организацио-на шема грађевинских пројеката [2]

Традиционални модел	Унапређени модел
Програмирање Инвеститори и власници Консултанти Представници закона	Програмирање Инвеститори и власници Консултанти Пројектанти Извођачи Произвођачи материјала и опреме Добављачи Представници закона
Понуда Инвеститори и власници Консултанти Представници закона	Понуда Инвеститори и власници Консултанти Пројектанти Извођачи Произвођачи материјала и опреме Добављачи Представници закона
Пројекат Консултанти Представници закона	Пројекат Консултанти Пројектанти Извођачи Произвођачи материјала и опреме Добављачи
Тендер Преговори Уговор Изградња	Изградња

Унапређена шема укључује све учеснике у пројекту у раној фази пројектовања. Тада је могуће одабрати одговарајуће материјале и компоненте објекта, што се одражава на каснији мониторинг трошкова. Укључивање извођача, произвођача и добављача у процес пројектовања повећава њихов утицај, што води до повећања одговорности сваког појединачног учесника и њиховог интереса на пројекту. Одлуке које се односе на облик и архитектуру зграде су направљене током фазе програмирања на основу захтева и жеља власника зграде и других фактора, као што су само градилиште и урбанистички плана. Ове одлуке имају велики утицај на следеће фазе у процесу пројектовања и извођења зграде, али су често донешене уз само мали обзир према важним аспектима као што су коришћење енергије, живот у затвореном простору и трошкови животног циклуса.

3. КВАЛИТАТИВНА АНАЛИЗА

Квалитативна вредност, KV, се додељује сваком аспекту перформанси са бодом 1 када је добијена референтна вредност, а са бодом 5 када је достигнут максимални квалитет. Средња вредност, SV, се добија када се све вредности поделе са њиховим укупним бројем, *n*. Када се пореде различите пројектантске алтернативе, укупни трошкови се рачунају према тој средњој вредности. Овај резултат дозвољава класификацију пројектантских алтернатива у складу са њиховим квалитетом. Различити аспекти перформанси

ме морају да имају исти значај. Ово је решено додавањем тежинског коефицијента, f_j за сваки аспект који изражава његов значај у односу на друге. Укупна вредност се затим добија мерењем тежинске средње вредности, TSV.

$$TSV = \frac{\sum_{j=1}^n f_j \cdot KV_j}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (1)$$

Многи аспекти перформанси пројекта директно утичу на трошкове животног циклуса објекта. У исто време, трошкови се препознају као фактор највишег утицаја током процеса пројектовања. Веза аспекта перформанси и трошкова омогућава директно поређење различитих пројеката изградње кроз трошкове животног циклуса. Постојање једне вредности којом се мере укупне перформансе олакшава оптимизацију где би оптималан пројекат био онај са најнижим трошковима животног циклуса. Многи аспекти који се односе на физичке, енергетске и еколошке перформансе пројекта зграде директно или индиректно утичу на трошкове животног циклуса. Традиционално, трошкови се оцењује као почетни инвестициони трошкови, што је износ новца који градитељ мора да омогући за изградњу зграде. Не узимајући будуће трошкове у обзир током пројектовања зграде може довести до скупљих објеката за кориснике. Стога, поређење различитих грађевинских пројеката треба да се заснива на прорачунима трошкова животног циклуса у којима се узимају у обзир сви трошкови током животног века. Трошкови животног циклуса се израчунавају кроз нето садашњу вредност (NPV). Предност прорачуна нето садашње вредности је могућност да се упореде различити инвестиције где се трошкови разликују током обрачунског периода. За израчунавање садашње вредности, сви трошкови током обрачунског периода своде се на данашње. Претпоставља се да би сви будући трошкови могли бити уложени по датој дисконтној стопи у неке алтернативне инвестиције. Дисконтна стопа се користи у обрачуну нето садашње вредности надокнађује инфлацију и разлике у приходима у односу на алтернативне инвестиције. Методе које описују калкулације животног циклуса трошкова на зградама су описани на пр. у америчком стандарду ASTM из 1993. у историјском периоду када су трошкови животног циклуса почели представљати стварне трошкове на објекту. NPV за трошкове C_i у периоду времена t се рачунају по следећој формули:

$$NPV = \sum_{i=0}^N \frac{C_i}{(1+i)^i} \quad (2)$$

са дисконтном стопом i и дужином посматраног периода N .

У даљем раду су представљене различите методе оптимизације које се могу применити на проблем пројектовања зграде. Уобичајено, велики број ограничења и пројектних променљивих постоје у проблему пројектовања, што је довело до великог броја итерација док се сви критеријуми не задовоље. Нумеричке технике нуде логички приступ таквим проблемима и када је дефинисан проблем, циљна функција може би-

ти формулисана применом пројектних променљивих, а оптимално решење може да се одреди коришћењем одговарајуће методе оптимизације. Одабир методе оптимизације за дати проблем зависи од следећих разма-трања [3]:

- структура предметне функције (линеарна, нелинеарна, конвексна, континуална, број локалних минимума и сл.)
- могућност анализе деривата првог и другог реда
- број пројектних променљивих
- пројектна ограничења

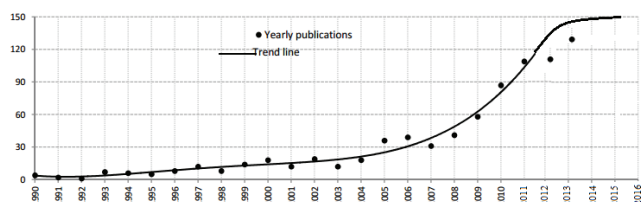
Проблеми пројектовања су често мултидисциплинарни или лоше дефинисани. Постоје бројна ограничења и пројектни циљеви, који нису бројчано дефинисани, као што су на пр. правни услови или естетски параметри. Даље, многи параметри су непоуздани или су у конфликту. У практичним проблемима пројектовања деривати првог и другог реда предметне функције не могу се аналитички проценити. Циљна функција је често нелинеарна, неконвексна и има бројне локалне минимуме. Величина проблема је обично велика са мноштвом ограничења. Постоје и дискретне и континуалне променљиве. Оптимизациони процес треба да буде и процес и циљ истовремено, резултат и награда. Ограничења су готово безбројна и различита у свом типу. Нека од њих могу бити:

- топлотна отпорност зида, пода и крова,
- тип и површина прозора,
- трошкови грађевинских елемената и материјала,
- корисне/нето површине просторија у објекту,
- утицај изградње на окружење ...

Оно што инжењери најчешће раде је примена симулационих метода који представљају коришћење енергије, термални угођај или дневно светло у будућем објекту. Већина апликација у симулацији изградње не може се изразити аналитички и може се посматрати као функције "црне кутије". Функције "Црне кутије" омогућавају излаз за дати улаз, али методе оптимизације не могу имати користи од било које аналитичке информације или деривата функције. И циљна функција и функција ограничења користе информације из симулације зграда и представљају нелинеарне "црна кутија" функције. У зависности од нивоа детаља у симулацији зграде време трајања једне симулације може да варира од секунде до сата. Симулација зграда може бити веома скупа и да би се ограничило време које се користи за оптимизацију, метод оптимизације треба да користи што је могуће мање симулација у процесу оптимизације.

Променљиве могу бити геометријске димензије објекта или његових елемената, или механичке и физичке карактеристике које описују понашање у конструкцији. Ово води ка обавезној примени оптимизационе метода која даје крајњи кориснику пуну контролу над формулацијом проблема. И континуалне и дискретне пројектне променљиве описују пројекат зграде. Континуалне пројектне варијабле су реални бројеви, на пр. представљају величину и оријентацију које могу стално варирати између доње и горње границе. Проје-

товање објекта укључује селекцију компонената које су укључене у сам пројекат. збор између различитих грађевинских компоненти је дискретан процес. Стога, пројектне варијабле које представља на пр. избор грађевинских елемената, као што је тип прозора или врата, могу се представити целобројним вредностима. Из претходно наведених разлога се оптимizacionи проблеми обично деле на глобалне и локалне. Задатак локалне оптимизације је да се пронађе локални минимум у окружењу скупа решења. Задатак глобалне оптимизације је да се нађе не само локални минимум већ "најмањи" локални минимум. У принципу, ови проблеми су тешко решиви. Локални оптимizacionи алгоритми су ефикасни у случајевима где оптимizaciona функција има само један минимум. У ситуацијама са више локалних минимума мора се покушати да се реши глобални проблем, обично неким од хеуристичких приступа. Приближни метод трансформише оригинални проблем путем апроксимација и тиме га упрошћује. У прошлости, за објекте оптимизација није била могућа, јер систем није био спреман да буде оптимизован. Систематски метод гарантује проналажење глобалног минимума са предвидљивим делом посла. Гаранција је слаба и не осигурава ефикасност методе, али гарантује одсуство системских недостатака који спречавају проналажење глобалног минимума. Кокос пројекат (The Coconut Project) који финансира Европска унија пружа детаљнију расправу о систематским методама оптимизације [4]. Циљ овог пројекта је да се интегришу тренутно доступне технике из математичких програмирања, програмирања са ограничењима и анализа интервала у једној дисциплини, да би се добили алгоритми за глобалну оптимизацију који надмашује тренутну генерацију алгоритама. У литератури се могу пронаћи различити покушаји решавања глобалног проблема пројектовања зграда. И даље је велики број параметара који су апроксимативно узети у прорачуну. Наравно, уз одговарајући прорачун, неопходна је детаљна и поуздана база дискретних и континуалних вредности променљивих (прозори, врата, цене енергије, економске константе, геометријска ограничења, временски параметри, просечно дневно сунчано зрачење и сл.). Употреба пројектантских алата у раним фазама процеса пројектовања зависи од приступа бази података, а компоненте зграда од поузданих својстава грађевинских компонената. Ако то није случај, пројектант мора да прикупи податке од извођача, добављача и произвођача и да створи базу података компоненти зграда. Било би потребно много времена да се укључе у раним фазама процеса пројектовања. Могло би се рећи да се подаци који се користе за израду базе података треба само да се једном прикупе и да се добије база података која се може користити у неколико грађевинских пројеката. Са обзиром на велику количину производа на тржишту то би био велики задатак за пројектанта и база података ће морати да се ажурира како се цене мењају и нови производи се стављају на тржиште.



Слика 1: Број објављених публикација на тему оптимизације зграда

4. ЗАКЉУЧАК

Оптимално пројектовање је прилично компликован задатак за тим пројектаната који покушавају да успоставе противтежу за различите супротстављене параметре, што је заузврат предмет разних ограничења. Због ове сложености, користе се перформансе алата симулација и као последица тога оне почеле су да се користе методе оптимизације, углавном као помоћ при доношењу одлуке. Постоје примери где су еволуциони алгоритми или друге методе деривата биле од користи са различитим пројектним променљивим и циљевима оптимизације. Углавном се радило о локалним оптимизацијама у смислу енергетских параметара у односу на положај зграда. Процес глобалне оптимизације је и даље сложен проблем за познате методе оптимизације због великог броја параметара и ограничења који се не могу математички дефинисати.

ЗАХВАЛНОСТ

У раду је приказан део истраживања које је помогло Министарство за просвету и науку Републике Србије у оквиру пројекта TP 36017

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ćirović G., Mitrović, S., Nikolić, D. "Optimization of shape of energy-saving buildings - problem formulation", Naučno stručni skup, Žabljak, Crna Gora, 2012.
- [2] Høgsted, M., Dalum, B., Bang, H., Clausen, L., Brandt, E. Østergaard, P. H. "Process and product development in the building industry: Experiences and results", Erhvervsfremme Styrelsen, Copenhagen, Denmark, 1999,
- [3] Wetter, M. GenOpt. "Generic optimization Program", Technical report, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA, 2000,
- [4] Bliet, C., Spellucci, P., Vicente, L. N., Neumauer, A., Granvilliers, L., Monfroy, E., Benhamou, F., Huens, E., van Hentenryck, P., Sam-Haroud, D. and Faltings, B. "COCONUT Deliverable D1 Algorithms for Solving Nonlinear Constrained and Optimization Problems: The State of the Art.", 2001.



АНАЛИЗА TEMПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА У ВРТИЋУ КАО ФИЗИЧКОГ ПАРАМЕТРА ТОПЛОТНОГ КОМФОРА

ANALYSIS OF THE AIR TEMPERATURE IN KINDERGARTEN AS PHYSICAL PARAMETER OF THERMAL COMFORT

ДАРИЈА ГАЈИЋ

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, dgajic@agfbl.org

АЛЕКСАНДАР ЈАНКОВИЋ

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, ajankovic@agfbl.org

ЉУБИША ПРЕРАДОВИЋ

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, ljpreradovic@agfbl.org

БИЉАНА АНТУНОВИЋ

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, bantunovic@agfbl.org

Резиме: Према стандарду ИСО 7730, под средином која пружа угодан топлотни комфор може се сматрати она средина коју 80% испитаника сматра пријатном, односно, неутралном. Међутим, топлотни комфор дјеце је веома тешко адекватно испитати помоћу анкета које се користе за одрасле особе, јер дјеца инфантилног/предшколског узраста не перципирају околинду на исти начин као одрасли. У овом раду изложена је анализа топлотног комфора дјеце у вртићу “Невен” у Бањој Луци на бази мјерења температуре ваздуха као једног од најважнијих физичких параметара који одређује пројектни топлотни комфор. Мјерења су извршена према стандарду ИСО 7726 на различитим висинама, али прилагођена висинским нивоима дјеце и могућностима постављања уређаја у просторији, а да се при томе не ремети њихова активност. Вриједности добијене мјерењем су обрађене, анализирани и графички представљене коришћењем програмског пакета Матлаб верзија 2016а.

Кључне речи: Матлаб, мјерења, температура ваздуха, топлотни комфор, вртић.

Abstract: According to ISO 7730 standard, an environment can be considered thermally comfortable if 80 percent of respondents believe that their residence is neutral or pleasant. Thermal comfort level in preschool buildings is impossible to adequately investigate through questionnaires, that are generally adapted for adults, because the preschool children do not perceive the environment as adults. In this paper we analyzed thermal comfort in preschool Neven in Banja Luka on the basis of the measured air temperature, as the physical parameter for assessing projected thermal comfort. The measurements were made according to standard ISO 7726, but adjusted to height levels of children. The instruments has been placed in the best possible position, whereby it was tried not to disturb the activities of children, as well as to be out of their reach. Measured values are processed, analyzed and presented graphically using Matlab version 2016a.

Keywords: Matlab, measurement, air temperature, thermal comfort, preschool.

1. УВОД

“Топлотни комфор је стање ума које представља задовољство топлотним окружењем” [1], при чему се угодном средином сматра она коју најмање 80% испитаника доживљава пријатном, односно, неутралном [2]. На субјективни осјећај топлотне угодности утичу како физички параметри (температура ваздуха, релативна влажност ваздуха, брзина струјања ваздуха у близини тијела и температура свих површина које ограничавају просторију) тако и персонални фактори (степен одјевености и физичке активности) [1,2]. Како би били испуњени услови топлотног комфора два основна сегмента морају бити задовољена: Први

услов је да комбинација температуре коже и температуре тијела дају осјећај топлотне неутралности, а други услов је да постоји енергетска равнотежа тијела, односно да је топлота коју метаболизам ствара једнака топлоти коју тијело губи. Дакле, топлотни комфор је веома тешко објективно изразити, јер зависи од низа околних и персоналих фактора који утичу на то да ли ће се особа осјећати топлото угодно у неком простору.

Топлотни комфор дјеце је веома тешко адекватно испитати помоћу анкета које се користе за одрасле особе, јер дјеца инфантилног и предшколског узраста не перципирају околинду на исти начин као одрасле особе

[3]. Такође, са дјецом узраста 2-6 година није могуће спровести анкету у класичном смислу, према стандарду ЕН10551 [4].

Узимајући у обзир све наведено, у овом раду је разматран топлотни комфор дјече предшколског узраста на основу објективних мјерења температуре ваздуха на различитим висинама од пода. Анализа мјерења је базирана на правилима пројектовања унутрашње температуре у зонама простора за боравак дјече у вртићима и према захтјевима за унутрашњом температуром која ће обезбједити угодан топлотни комфор у односу на активности дјече у вртићима према истраживањима у литератури.

2. МЈЕРЕЊЕ И ЗНАЧАЈ TEMПЕРАТУРЕ УНУТРАШЊЕГ ВАЗДУХА У ВРТИЋИМА

Као што је већ раније речено, на осјећај топлотног комфора утичу како физички тако и лични фактори. Физички фактори су: температура ваздуха унутар просторије, брзина струјања ваздуха, релативна влажност унутрашњег ваздуха и температура зрачења, која представља пондерисани просјек свих температура унутрашњих површина које преграђују просторију, док су лични фактори: метаболичка активност (мет) - енергија коју одаје људско тијело и степен одјевоности (clo) - количина топлотне изолације коју особа носи. Сви наведени фактори утичу на осјећај висине температуре. Чак и физички фактори при пројектовању топлотног комфора у грађевинарству, при пројектовању система гријања, одређени су достизањем пројектне унутрашње температуре. Измјерена температура унутрашњег ваздуха је једини параметар, који се прати и код топлотног комфора и код унутрашњег квалитета ваздуха (IAQ), али и код потрошње топлотне енергије за гријање, тренутно најважнијег индикатора за одређивање енергетске ефикасности зграда. У овом истраживању измјерена унутрашња температура може се сматрати и оперативном, јер је ипак мјерена на једном одређеном мјесту у просторији. Оперативна температура покушава комбиновати ефекте ваздуха и средње температуре зрачења у једну метричку јединицу. Често се апроксимира као просјек температуре ваздуха сухог термометра и средње температуре зрачења на одређеном мјесту у соби. Оперативна температура понекад се сматра једноставно температура ваздуха [5].

Стандард ИСО 7726 указује да се при мјерењу унутрашње температуре, температура ваздуха у просторији може сматрати хомогеном, уколико се просјечне температуре у тачкама мјерења не разликују за више од 1,5 °С. У анализираној литератури [6] температура ваздуха у просторији према температури пода, сходно захтјевима који се наводе да би био остварен топлотни комфор, указује на чињеницу се да се температура по висини, од глежња (10 cm) до главе (110 cm), не би требала разликовати за више од 2°С (захтјев при механичкој вентилацији). У истој литератури се, такође, наводи да унутрашња температура ваздуха и просјек температура околних површина које окружују тај ваздух (зидови, под и плафон) не би требало да се раз-

ликују више од 3°С и, што је значајно за ово истраживање, температура унутрашњег ваздуха на висини од 10 cm не би требало да буде испод 21 °С. У њемачком енергетском приручнику за одрживу архитектуру [7] наводи се да су захтјеви за унутрашњом температуром која ће обезбједити угодан топлотни комфор исти и код дјече и код одраслих и да у зависности од активности износи при:

- мировању/спавање и лежање – 24 °С;
- минималној активности/сједење и цртање - 22°С;
- лаганој активности/стајање и лагана шетња - 20,5°С;
- лаганом физичком послу/вјежбање - 19°С;
- тешком физичком послу/непрестано скакање - 17°С.

Ако узмемо у обзир да дјеца у зимском периоду у просторијама вртића у просјеку проводе око 8,5 сати дневно, њихове предвиђене активности (јутарња гимнастика, доручак, цртање и учење, играње, ручак, спавање, ужина, играње) захтјевају просјечну унутрашњу температуру око 22°С.

Сагледавајући све горе наведено може се узети у обзир да је прихватљив просјек унутрашње температуре 22°С, али да висинска градијација унутрашње температуре у интервалу 10-110 cm треба да буде 21-23°С.

При анализи пројектне унутрашње температуре у просторијама за боравак дјече према правилима струке, а у складу са коришћеном литературом [8] и према важећем стандарду ЕН ИСО 12831 [9] којим се воде прорачуни пројектовања оптерећења гријања у зградама, наводи се да је унутрашња пројектна температура у вртићима 20°С (предшколске установе се третирају као стамбене зграде) [10].

Из свега горе наведеног може се закључити да је за вртиће неопходно да унутрашња пројектна температура достигнута у режиму гријања (6-22 часа) у просторијама за боравак дјече буде 22°С.

3. МЕТОДОЛОГИЈА МЈЕРЕЊА

У овом раду су приказани резултати мјерења температуре унутрашњег ваздуха, као једног од мјерених параметара топлотног комфора у вртићу “Невен” у Бањалуци. Зграда вртића није топлотно изолована, а вртић се грије даљинским гријањем. У периоду када је вртић грађен на снази нису били правилници који дефинишу топлотну заштита, што за последицу има непостојање топлотне изолације у омотачу. У складу са важећим прописима, пројектна температура простора за боравак дјече у вртићима, као и код стамбене изградње, захтијева се да буде 20 °С. Мјерења температуре, изложена у овом раду, су извршена према стандарду ИСО 7726, а позиције сензора за мјерење температуре (слика 1) су прилагођене узрасту дјече и могућностима постављања уређаја у простору. Како сензори не би били изложени додирима знатнијељне дјече, постављани су у скривен положај изван њиховог дохвата и пажње. Ипак, конфигурација намјештаја у просторији није дозвољавала да се у потпуности испуни овај захтјев.



Слика 1: Положаји сензора (у смјеру казаљке на сату) за мјерење температуре ваздуха на висинама од 10, 40, 65 и 110 cm.

Мјерења температуре ваздуха изведена су на четири мјерне позиције на различитим висинама изнад пода: 10, 40, 65 и 110 cm у периоду од 11. до 28. децембра 2015. године. При томе, на свакој мјерној позицији је извршено 7.917 мјерења температуре са временским интервалом осредњавања од три минуте. Мјерења су извршена помоћу дата логгер-а Тесто 174Н који омогућава одређивање температуре и релативне влажно-

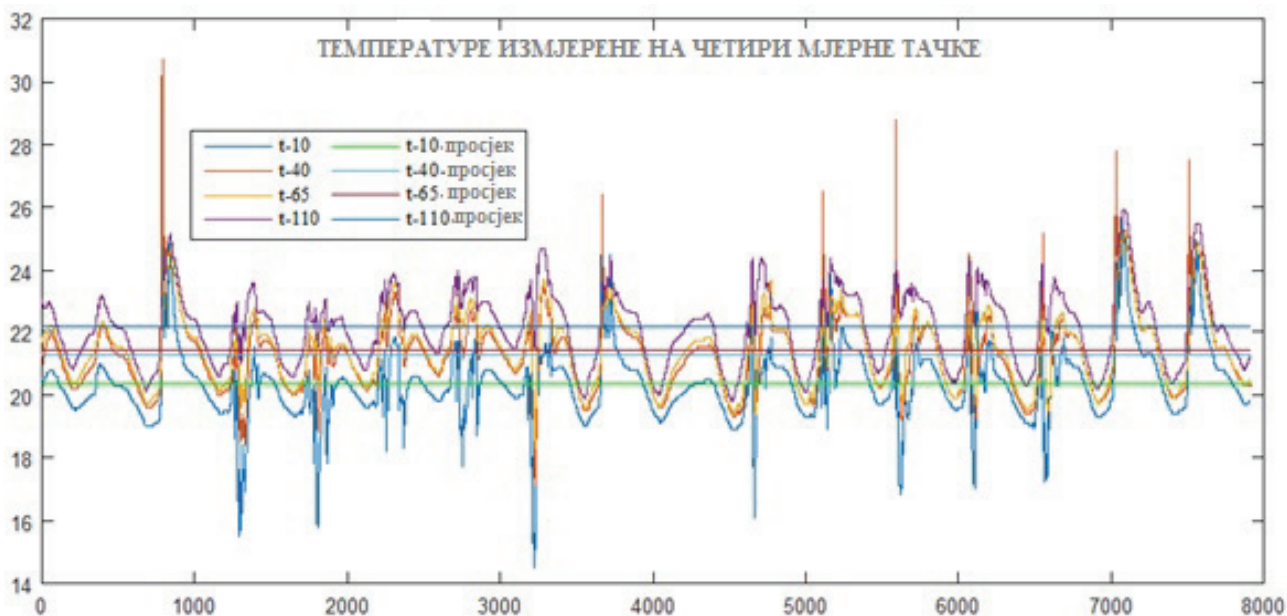
сти ваздуха и чије су карактеристике дате у табели 1. Ови минијатурни и лаки сензори, одређују температуру на основу промјенљиве отпорности уграђеног термистора и веома су мале термичке инерције, па омогућавају брз одговор на промјену температуре и у том смислу испуњавају стандард ИСО 7726. По свим осталим карактеристикама ови сензори класе Ц, којим се одређују параметри комфора у умјереним срединама (стандардни комфор), задовољавају захтјеве прописане стандардом ИСО 7726. Сензори током мјерења нису били изложени зрачењу оближњих извора топлоте, чиме је избјегнут ефекат зрачења, које би резултовало регистравањем више температуре ваздуха.

Табела 1: Техничке карактеристике инструмента Тесто 174Н

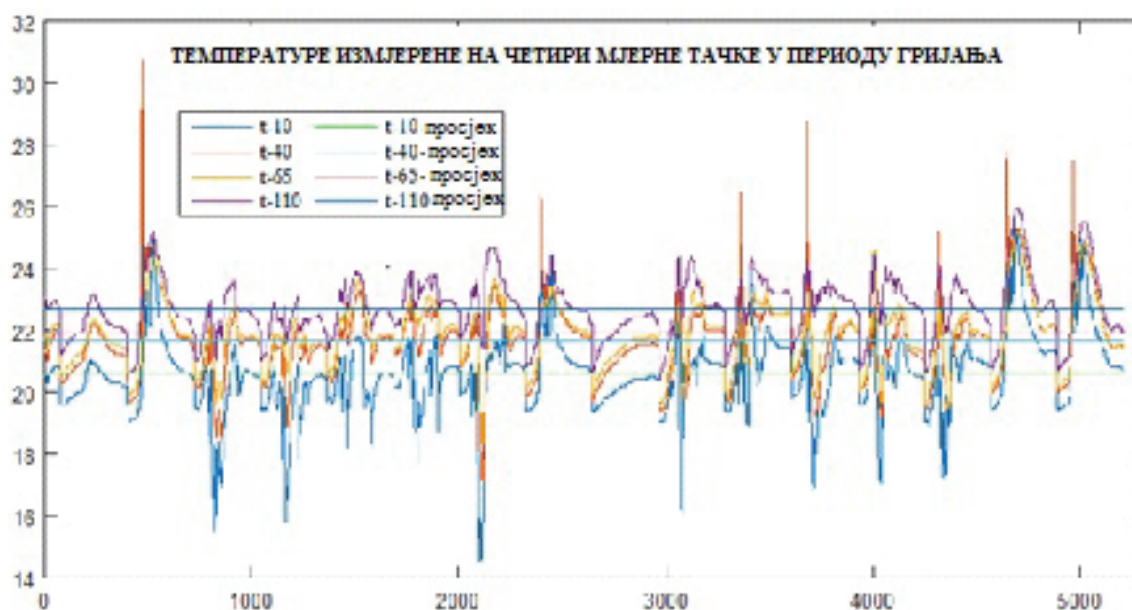
Опис	Карактеристике
Мјерни опсег	од -20 до +70 °C
Прецизност	± 0.5 °C
Резолуција	0.1 °C
Интервал мјерења	од 1min. до 24 h
Меморија	16000 мјерења

4. АНАЛИЗА МЈЕРЕЊА УНУТРАШЊЕ TEMПЕРАТУРЕ ВАЗДУХ

Резултати мјерења температуре током 24 часа на четири мјерне позиције приказане су на слици 2, док су на слици 3 приказани резултати мјерења температуре на четири мјерне позиције у оквиру 16-часовног режима гријања. Помоћу правих линија приказане су просјечне вриједности измјерене температуре на обе слике [11].



Слика 2: Температуре унутрашњег ваздуха на висинама 10, 40, 65 и 110 cm изнад пода мјерене 19 дана (24 часа) у децембру 2015.године



Слика 3: Температуре унутрашњег ваздуха на висинама 10, 40, 65 и 110 cm изнад пода мјерене 19 дана (16 часова – проектни режим гријања) у децембру 2015. године

У табели 2. су приказане просјечне вриједности температуре са све четири мјерне тачке израчунате са 24-часовни интервал мјерења и 16-часовни интервал мјерења који одговара режиму гријања. У оба случаја је евидентан пораст просјечне температуре са висином, што је додатно потврђено примјеном једносмјерне анализа варијансе АНОВА [11], гдје је добијена вриједност ($p = 0.$). Анализа указује да постоји високо статистички значајна разлика у вриједностима температура мјерених на четири мјерне тачке, чиме је одбачена нулта хипотеза о једнакости температура мјерених на четири мјерна мјеста. Значајна разлика која се јавља између температура са различитих мјерних позиција је последица постојања вертикалног температурног градијента, који се јавља услед ефекта подизања топлог ваздуха навише. Такође је примјетно да је просјечна температура на свим мјерним позицијама виша током гријног интервала и да се та разлика између просјечних вриједности повећава са висином.

Посматрајући 24-часовни интервал мјерења, из табеле 2 се може примјетити да су вриједности стандардних девијација на свим мјерним позицијама блиске, што указује да температура на свим висинама варира на приближно исти начин. С друге стране, ако се посматра интервал режима гријања (06 – 22 h), постоји значајна разлика између стандардних девијација на висинама од 10 cm и 45 cm и на висинама од 65 cm и 110 cm од пода. Веће вриједности стандардне девијације на двије најниже мјерне позиције указују да су флукутације температуре на овим висинама израженије у односу друге двије мјерне позиције.

Вриједности минималних и максималних температура на мјерним позицијама су приказане у табели 2 и указују на значајно високе и ниске вриједности. Посматрајући оба интервала мјерења, може се закључити да су све максималне и минималне температуре забиљежене током интервала који одговара режиму гријања, осим минималне вриједности на висини од 110 cm. Разлике између ових екстрема су најмање на висини

од 110 cm, а највише на висини од 40 cm од пода. На први поглед се може закључити да је топлотни комфор нарушен са овим екстремним вриједностима температура, али такви екстреми се јављају веома ријетко и најчешће као резултат нестандардних утицаја на сензоре.

Табела 2: Минималне и максималне температуре измјерене на мјерним тачкама

Измјерена температура		Мјерна тачка			
		10	40	65	110
0 – 24 h	минимална	14.5	17.1	18.3	19.8
	максимална	26.2	30.7	25.2	25.9
	разлика	11.7	13.6	6.9	6.1
	просјечна	20.3	21.3	21.4	22.2
	ст. девијација	1.14	1.23	1.11	1.18
06 – 22 h	минимална	14.5	17.1	18.3	20.4
	максимална	26.2	30.7	25.2	25.9
	разлика	11.7	13.6	6.9	5.5
	просјечна	20.6	21.7	21.9	22.7
	ст. девијација	1.28	1.27	1.05	0.98

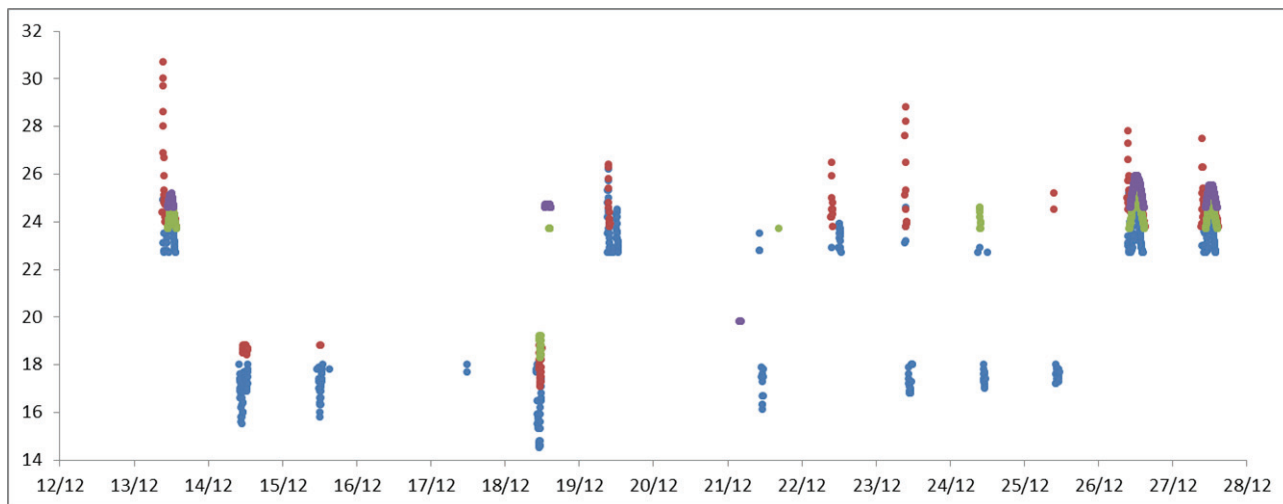
За температуре које одступају више од двоструке вриједности стандардне девијације у односу на просјечну вриједност је претпостављено да су неуобичајено високе или ниске.

Њихова учесталост регистровања је веома мала и креће се од 3.1 % до 5.8 %, у зависности од мјерне позиције. Ове веома високе и ниске температуре највјероватније настају као последица додиривања сензора, што доводи до регистровања неуобичајено високих максималних температура и услјед струјања спољашњег хладног ваздуха који у просторију продира при отвореним балконским вратима, што доводи до регистровања неуобичајено ниских минималних температура. Као могућа потврда ове претпоставке су и чињенице:

- Скоро сви температурни максимуми и минимуми се региструју у току интервала у коме су дјеца активна у просторији (режим гријања), а најчешће у периоду од 09 до 12 часова, када су дјеца најактивнија и када се најчешће отварају балконска врата. Учесталост и вријеме појављивања неубичајено високих и ниских вриједности примјетан је и са слике 5.
- Најнижа температура регистрована је на висини од 10 cm, што може бити посљедица продора спољашњег хладног ваздуха од отворених балконских врата који се подвлачи под топао ваздух унутар

просторије, као и у неизолованости под топлотном изолацијом, и недовољне заптивености дотрајалих балконских врата.

- Највеће вриједности стандардне девијације, а самим тим и флукуација температуре на двије најниже мјерне позиције, појављују се током интервала који одговара режиму гријања. Ове двије мјерне позиције се налазе у домету дохвата дјеце и најосјетљивије су на промјену температуре услед продора хладног ваздуха кроз балконска врата.



Слика 4: Учесталост и вријеме појављивања екстремних температура (плаве, црвене, зелене и љубичасте тачке означавају неубичајено високе или ниске температуре на 10, 40, 65 и 110 cm, редом)

Ипак, као што је раније поменуто учесталост оваквих појава је веома ријетка, а њихов утицај на просјечне вриједности температура није значајан, што се може закључити и на основу слике 4 и слике 5. На слици 5 је дат статистички приказ измјерених температура у току 24-часовног интервала мјерења, гдје је црвеном линијом унутар плавог квадрата -означена медијана за цијели интервал мјерења, а плавим квадратом температурни интервал у коме се налази половина од укупног броја мјерења. Црним линијама су издвојене значајно високе и ниске температуре које у односу на просјечну вриједност одступају за више од двоструке вриједности стандардне девијације, а означене су црвеним крстићима. Међутим, као и што се види са слике 5, њихов број је занемарљив у односу на укупан број мјерења.

5. ЗАКЉУЧАК

Мјерења су показала да према правилима струке и правилницима који одређују енергетску ефикасност зграда вртић „Невен” достиже захтјевану унутрашњу пројектну температуру од 20°C у простору за боравак дјеце. Међутим, просјечна измјерена температура од 21.3°C чија је стандардна девијација 1.34°C скоро достиже и разматрани температурни услов за угодан топлотни комфор од 22°C. Ипак, у режиму гријања разлика просјечних измјерених температура на висинама

10 и 110 cm износи 2,1°C, док је према захтјевима у литератури захтјевана разлика 2°C.

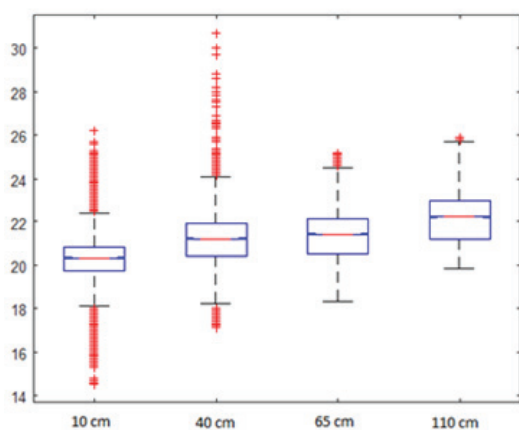
Да би се у потпуности сагледао топлотни комфор корисника неопходно је разматрати и остале субјективне и објективне параметре. Када су у питању физичке величине, то би значило анализу температура површина које играничавају просторију, брзине струјања ваздуха и релативне влажности ваздуха јер ће субјективни осјећај температуре зависити од вриједности ових величина.

Наведени вртић је прикључен на систем даљинског градског гријања, нема топлотну изолацију на омотачу, достиже вишу температуру него што прописују важећи правилници из ове области што доводи до закључка да предметни вртић не задовољава услов енергетске ефикасности.

У складу са правилницима чији је предмет енергетска ефикасност зграда и дефиницијом енергетски ефикасне зграда која троши минималну количину енергије уз обезбјеђење потребних услова комфора, закључак је да би због постизања услова топлотног комфора у зимском периоду пројектну температуру требало промјенити са 20°C на 22°C.

Међутим, неопходно је детаљније размотрити стварну и пројектну потрошњу топлотне енергије како би се

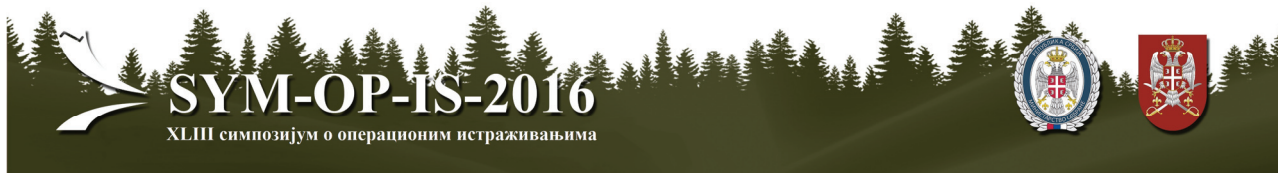
извео коначан закључак у вези са енергетском ефикасношћу овог вртића.



Слика 5: Графички приказ интервала измјерених температура на четири мјерне тачке

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ISO 7730, *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, International Organisation for standardization, Switzerland, 2005.
- [2] ASHRAE Standard 55-2004, *Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta: American society of heating, refrigerating, and airconditioning engineers ", 2004.
- [3] Fabbri, K., *Indoor Thermal Comfort Perception A Questionnaire Approach Focusing on Children*, Springer International Publishing AG Switzerland, 2015.
- [4] EN 10551: *Ergonomics of the thermal environment -- Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*.
- [5] Рекнагел, X., *Грејање и климатизација*, 7. измјено и допуњено издање, Врњачка бања: Интер-клима, 2011.
- [6] Вилемс В., Шилд К., Динтер С., *Грађевинска физика-приручник*, део 1, Београд: Грађевинска књига, 2008.
- [7] Hegger M., Fuchs M., Stark T. and Zeumer M., *Energy Manual: sustainable architecture*, Basel: Birkhäuser, 2008.
- [8] Тодоровић Б., *Пројектовање постројења за централно гријање*, Београд: Машински факултет, 2005.
- [9] EN ISO 12831:2003 *Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load, Annex D (Normative) D.2 – Internal design temperature*.
- [10] EN ISO 13790:2008 *Thermal performance of buildings-Calculation of energy use for heating*.
- [11] Прерадовић Љ., *Матлаб – принципи и примјена*, Бања Лука: Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, 2016.



**ИЗБОР ЛОКАЦИЈЕ ЗА НАЦИОНАЛНИ СТАДИОН У СРБИЈИ
ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ ОДЛУЧИВАЊЕМ**

**MULTICRITERIA DECISION MAKING FOR LOCATION SELECTION OF SERBIA
NATIONAL STADIUM**

ЈЕЛЕНА ПРАЛИЦА

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, pralica.jelena@gmail.com

ЗОРА АЛЕКСИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, gvule@sezampro.rs

ВУЛЕ АЛЕКСИЋ

Висока грађевинско геодетска школа струковних студија, Београд, gvule@sezampro.rs

Резиме: Вишекритеријумска анализа је један од најчешће коришћених метода у доношењу одлука у научном, пословном и инжењерском свету. Користи се у ситуацијама када је на основу великог броја критеријума потребно донети неку одлуку. Анализа и процедурално одлучивање у конкретном проблему постају сложенији ако се одлука односи на избор од неколико могућих локација за изградњу новог спортског објекта. У раду је извршена анализа постојећих локација за изградњу Националног стадиона у Србији.

Кључне речи: Вишекритеријумска оптимизација, ELECTRA, Национални стадион

Abstract: Multicriteria analysis is one of the most commonly used methods in decision-making in science, business and engineering world. It is used in situations where it is based on many criteria necessary to adopt a decision. Analysis and procedural decisions in specific problem becomes more complicated if the decision involves the choice of several possible locations for the construction of a new sports facility. In this paper locations for the construction of the National Stadium in Serbia has been analyzed.

Keywords: Multicriteria optimization, ELECTRA, National stadium

1. УВОД

Љубитељи фудбала у Србији су током пар протеклих година добијали разне информације о могућностима изградње новог Националног стадиона. Говорило се о више локација, већина њих је бира на основу различитих погодности које локација нуди. У овом раду ће се читавом процесу одабира најповољније локације приступити са мало другачијег становишта. Овде се ради о проблему који је у процесу одлучивања познат као оптимални избор (локације, стратегије,...). Конкретно, аутори ће покушати да дају одговор на питање како посетиоци – конзументи бирају спортски објекат који ће да користе за неку спортску активност. Разматраће се како будући инвеститори гледају на то који објекат, уколико уопште имају могућност да бирају, изабери као своју стратегију.

Анализа и процедурално одлучивање у конкретном проблему постају сложенији ако се одлука односи на избор од неколико могућих локација за изградњу новог спортског објекта.

Пракса је показала да се овој теми не посвећује довољна пажња, него се, углавном, постојећи објекти

користе у затеченом стању, или се прилагођавају (адаптирају) тренутним потребама, без довољно претходне анализе о статистичким показатељима структуре потенцијалних корисника, њихових жеља, могућности и потреба, врсти спортске активности за коју су заинтересовани и слично. Ово, наравно, изискује и скупа претходна истраживања – анкете, истраживање просторних могућности, анализе и синтетичка разматрања [1].

Због свега тога се у овом раду даје један од могућих погледа како изабрати неку локацију за спортски објекат који се заснива на истовременом разматрању више критеријума који карактеришу конкретну локацију, а која користи савремене информационе и интелигентне технике у процесу доношења одлуке.

2. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ

У овом делу ћемо се бавити једном од најпопуларнијих група метода у квалитативној анализи – методама ELECTRE. ELECTRA је група метода вишекритеријумског одлучивања које су развијене у Европи средином 60-тих година. ELECTRE је акроним од францу-

ских речи *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* [2]. Први је овај приступ увео у теорију одлучивања француски математичар Bernard Rua и његове колеге у консултантској компанији SEMA. Потреба за оваквим системом вишекритеријумске анализе се јавила због ризика који се није могао избећи у класичним методама у којима се анализира одговарајућа функција корисности. Методама ELECTRE се у приличној мери елиминисе субјективност доносиоца одлуке, а нарочито су ове методе добиле на значају после психолошких истраживања седамдесетих [3] која су дала предност квалитативним методама. Методе ELECTRE су се касније, услед велике примењивости, развиле у различитим правцима, па су тако настале варијације ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS и друге.

3. ОСНОВНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ И ОЗНАКЕ

Означимо алтернативе које ћемо проучавати са A_1, A_2, \dots, A_n . Нека су оне оцењене по критеријумима K_1, K_2, \dots, K_m са тежинама $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ и скалама оцена I_1, I_2, \dots, I_m . Свака од скала оцена је неки подскуп скупа природних бројева и њихови дијаметри су: $|I_1|, |I_2|, \dots, |I_m|$. Са $a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{nk}$

ћемо обележити оцене алтернатива по k -том критеријуму. Посматрајмо сада две алтернативе са индексима i и j и уведемо следеће ознаке:

$$K_{ij}^+ = \{k \mid a_{ik} > a_{jk}\}, K_{ij}^- = \{k \mid a_{ik} < a_{jk}\},$$

$$K_{ij}^= = \{k \mid a_{ik} = a_{jk}\}. \quad \text{У методама ELECTRE,}$$

аргументи који иду у прилог хипотези да је алтернатива A боља од алтернативе B су садржани у такозваном *индексу сагласности* са том хипотезом, односно са индексом конкорданса. У оригиналној методи ELECTRE индекс конкорданса узима у обзир скуп критеријума по којима алтернатива A није горе оцењена од алтернативе B . Дакле, нека су A_i и A_j алтернативе које упоређујемо. Тада је индекс сагласности са хипотезом да је A_i боља од A_j дефинисан једнакошћу

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k \in K_{ij}^+ \cup K_{ij}^-} \omega_k}{\sum_{k=1}^m \omega_k} \quad (1)$$

Оно што је новост у методама ELECTRE јесте принцип да се нека хипотеза, за коју је довољно велики индекс сагласности, не прихвати ако постоји велико противљење тој хипотези. Разлози за неприхватање хипотезе су садржани у такозваном *индексу несагласности* или *дискорданси*. Ако испитујемо хипотезу да је алтернатива A_i боља од алтернативе A_j индекс несагласности са том алтернативом дефинишемо следећом релацијом

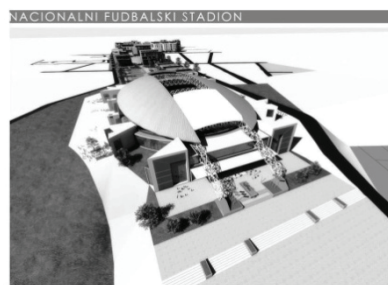
$$d_{ij} = \max_{k \in K_{ij}^-} \frac{a_{jk} - a_{ik}}{|I_k|} \quad (2)$$

Уведемо још и прагове сагласности и несагласности. То су редом бројеви p и q такви да је $0 < q < p < 1$. Рећи ћемо да је i -та алтернатива боља од j -те ако важи да је $C_{ij} \geq p$, $d_{ij} \leq q$. Ово ћемо означити са $A_i \succ A_j$. На тај начин формирамо релацију међу алтернативама.

4. МОГУЋЕ ЛОКАЦИЈЕ ЗА ИЗГРАДЊУ НАЦИОНАЛНОГ СТАДИОНА

Последњих година је било помињано по локалним медијима више различитих локација за изградњу Националног стадиона, нарочито у време када је наша земља мислила да се укључи у трку за добијање организације великог фудбалског догађаја 2020. године. У даљем тексту ће бити приказано 8 таквих локација које су се ауторима чиниле могућим кандидатима, са појединачним њиховим карактеристикама.

- Лаудонов шанац у Земуну, капацитета 50.000 места, спортско-пословни и стамбени комплекс. Ова локација обухвата део Бежанијске косе ограничен Аутопутем и улицама Тошин бунар, Корушком и Марије Бурсаћ, те заузима површину од око 60 ха. Локација је имовински чиста, будући да је реч о државном земљишту. Налази се у каналу широком од 100 до 200m и дугачком око 1.500 m, који је дубок отприлике 25 m. Ови параметри стварају услове да се изграде објекти уз практично безначајне земљане радове. Национални фудбалски стадион у Земуну имао би повољне саобраћајне везе. Удаљеност петље аутопута Београд-Загреб је око 1.500m, док се Аеродром "Никола Тесла" налази свега десетак км од локације. Локација је повезана и са железничким колосеком, односно удаљена је око 1.000 m од Железничке станице "Земун Н. Град". Планиране линије београдског метроа додатно би употпуниле постојеће саобраћајне везе. Осим одличне повезаности, главне предности локације су постојећа инфраструктура, као и могућност снабдевања објекта енергијом из геотермалних извора, што би га чинило енергетски ефикасним и знатно би допринело смањењу трошкова његове експлоатације.



Слика 1: Национални фудбалски стадион у Земуну, пројекат

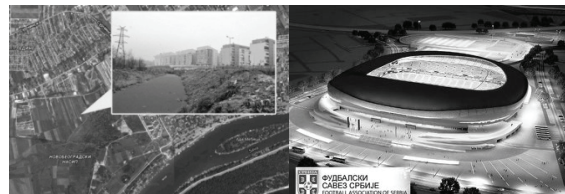
- Стара Пазова. У њој се већ налази "Кућа фудбала", што је, наравно, предност, има довољно слободног земљишта, а и повезаност Старе Пазове са Београдом и Новим Садом је одлична.

- Десна обала Дунава у Београду, односно позиција Луке Београд. Атрактивна локација, која би оживела "умрли" део Београда, рехабилитовала би га, баш као што је то, рецимо, Лондон урадио са источним делом града, где је за Олимпијске игре стационирао и олимпијски стадион и О₂ Арену и олимпијско село које је потом претворено у стамбени простор, као и највећи тржни центар у Великој Британији.
- Железник, "Мали Пољуд". Стадиону би се могло прићи с више страна, од Железника до аеродрома „Никола Тесла” обилазницом се сад стиже за свега 10 минута. До центра града, преко сајма и Аде Циганлије, потребно је 15, 20 минута.



Слика 2: Локација фудбалског стадиона у Железнику

- Реновирање или изградња нових стадиона на месту постојећих – Црвене звезде, Партизана, ОФК Београда и Рада. Према процени фирме "Солидиту", Рад има највећи потенцијал, с обзиром на 10 хектара простора у том делу Бањице. Проблем код ових стадиона, односно спортских објеката је правна регулатива и неуређени власнички односи. Проблем изградње јесу новчана средства, јер би изградња новог стадиона коштала између 145 и 160 милиона евра. Постоји могућност за реконструкцију постојећих стадиона, Маракане и Партизана која би коштала од 120 до 145 милиона евра.
- "Београдски Банат", односно позиција код "Кинеског моста". Ова локација има релативно добру повезаност са аеродромом, али у близини нема значајнијих хотелских капацитета.
- Иза Алтине на месту где се спајају ауто-путеви Београд - Загреб и Београд - Нови Сад.
- "Сремски Београд", односно локације иза Блока 45, насеље "др Иван Рибар". Тај стадион би имао јако лош приступ, а највећи број гледалаца би се сливао само из једног правца – Улицом Јурија Гагарина. Поред тога, имао би недовољне везе јавног превоза, теже би се формирала нека друга функција у комплексу, а и ефекат на околну имовину и земљиште би био крајње ограничен, пошто би се стадион налазио великим делом окружен пољопривредним земљиштем и заштићеним зонама које не дозвољавају градњу.



Слика 3: Национални фудбалски стадион на Новом Београду, пројекат

Оно што је важно за национални стадион јесте:

- близина (београдског) аеродрома (то су услови УЕФА)
- без атлетске стазе (лоше за опцију 4)
- друга саобраћајна инфраструктура, приступне саобраћајнице, близина аутопута
- власнички односи
- површина парцеле, 25 до 50 хектара земљишта
- пословно-комерцијални садржаји
- близина хотелских садржаја
- брзина изградње
- начин финансирања (јавно-приватно партнерство), цена

Стадион треба да задовољи основне критеријуме:

- Довољан број седишта (мин 30.000 за групну фазу / мин 50.000 за финалне и утакмице домаћег тима) са могућношћу ширења капацитета, додавања нових трибина, нових комерцијалних садржаја, ВИП зона, Пресс зона, итд.
- Кровна конструкција мора да у потпуности покрива посетиоце.
- Најновија технолошка решења (осветљење, CCTV, интернет, медији, итд.)
- Пuteви приступа и евакуације објекта по највишим сигурносним стандардима.
- Идеална оријентација терена у односу на сунце и ветар (север-југ)
- Три принципа пројектовања трибина / гледалишта:
 - Безбедност
 - Добра видљивост
 - Удобност
- Величина локације (довољно велика да задовољи несметано и безбедно кретање свих посетилаца, да омогући смештање привремених UEFA објеката, комерцијалне садржаје, довољан број паркинг места од 20 – 50 ha.
- Транспорт и приступ (брзи приступ интернационалном аеродрому, добар приступ главним аутопутевима, станицама јавног превоза, минимум 3 главна пута различитих праваца треба да воде до стадиона) итд.
- Паркиннг места (групна фаза - мин 315 аутобуса и мини бусева, 1500 аутомобила) на максимално 20 минута пешке од стадиона
- Хотелски смештај (групна фаза – 2.600 соба, полуфинале 5.500 соба од чега 75% у хотелима са 3 и 4 звезде).

5. ИЗБОР ЛОКАЦИЈЕ ЗА ИЗГРАДЊУ НАЦИОНАЛНОГ СТАДИОНА ПРИМЕНОМ МЕТОДА ELECTRE

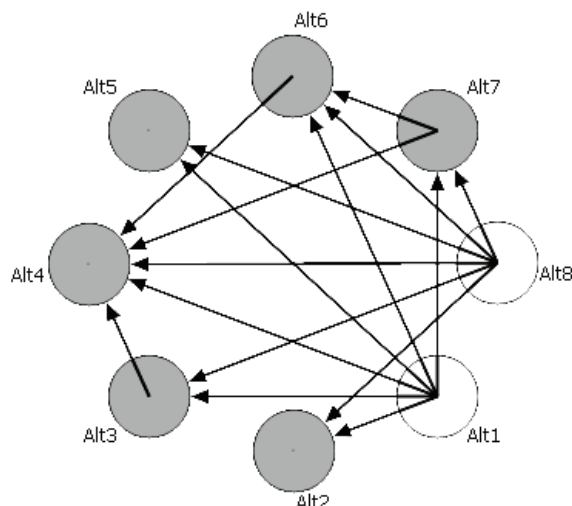
У овој секцији врши се избор најповољније локације применом метода ELECTRE вишекритеријумског одлучивања [4]. Овде се разматра избор оптималне локације, од 8 понуђених, за изградњу будућег националног стадиона. Очигледно је да се решење – оптимална локација добија по више критеријума. Усвојено је, на основу општег искуства, девет критеријума за вредновање алтернатива:

- Близина (београдског) аеродрома (то су услови УЕФА). Оцене: од 1-8, 1-најдаље 8-најближе.
- Без атлетске стазе. Оцене: 0-са атлетском стазом, 1-без атлетске стазе.
- Друга саобраћајна инфраструктура, приступне саобраћајнице, близина аутопута. Оцене: 1- непостоји, 2-лоше, 3-добро, 4-одлично.
- Власнички односи. Оцене: 0-нерешени, 1-решени.
- Површина парцеле, 25 до 50 хектара земљишта. Оцене: 0- незадовољава, 1-задовољава.
- Удаљеност пословно-комерцијалних садржаја. Оцене: 1-преко 10 km, 2- 5 до 10km, 3- 3 до 5 km, 4- 0 до 3 km.
- Близина хотелских садржаја. Оцене: 0- незадовољава, 1-задовољава.
- Удаљеност пословно-комерцијалних садржаја. Оцене: 1-преко 10 km, 2- 5 до 10km, 3- 3 до 5 km, 4- 0 до 3 km.
- Еколошки фактор. Оцене: 0- незадовољава, 1-задовољава.

Табела 1: Скале оцена и њихово вредновање-стадион

Назив	w	Ik	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	Alt 8
Близина (београдског) аеродрома (то су услови УЕФА)	10	1- 8	8	2	4	3	6	5	7	9
Без атлетске стазе	4	0 - 1	1	1	1	1	0	1	1	1
Друга саобраћајна инфраструктура, приступне саобраћајнице, близина аутопута	9	1- 4	4	2	2	1	2	2	3	3
Власнички односи	5	0 - 1	1	1	0	0	0	1	1	1
Површина парцеле, 25-50ha земљишта	8	0 - 1	1	1	1	0	0	1	1	1
Удаљеност пословно-комерцијалних садржаја	6	1 - 4	4	1	3	2	3	2	2	3
Близина хотелских садржаја	8	1- 4	3	1	3	1	4	2	2	3
Еколошки фактор	8	0 - 1	1	1	1	0	0	0	0	1

У модификованој методи ELECTRE при праговима сагласности, односно несагласности $p = 0,8$; $q = 0,3$ граф релације је приказан на слици 4. На слици 4. се види да се језгро састоји од две алтернативе А1 и А8 тј. 1. Лаудонов шанац у Земуну и 8. "Сремски Београд", односно локације иза Блока 45, насеље "др Иван Рибар". У табели табели 2 види се да Alt1 има предност у односу на Alt8. На тај начин олакшано је коначно доношење одлуке од стране релевантних органа.



Слика 4: Граф релације

Табела 2: Језгро релације

Језгро	за фиксно q: 0.3	за фиксно p: 0.8
Alt1	Alt1 : $p > 0.4$	Alt8 : Увек
Alt8	Alt8 : $p > 0.6$	Alt1 : Увек
	Alt5 : $p > 0.862068965517241$	Alt5 : $q < 0.25$
	Alt7 : Никад	Alt2 : Никад
	Alt4 : Никад	Alt3 : Никад
	Alt6 : Никад	Alt6 : Никад
	Alt2 : Никад	Alt7 : Никад
	Alt3 : Никад	Alt4 : Никад

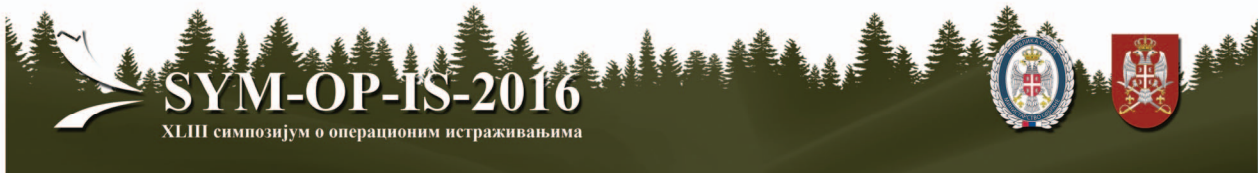
6. ZAKLJUČAK

Методе ELECTRE примењене у овом раду издвајају језгро од 2 алтернативе из великог броја алтернатива. Те две алтернативе сматрају се једнако добрим. Гачније, немамо довољно разлога да можемо избацити неку од алтернатива из језгра. Озбиљан проблем су људске грешке при одређивању тежине критеријума и скала оцена. Методе ELECTRE делимично отклањају овај проблем, а на пословном плану се овај проблем умањује колективним одлучивањем кроз скупштине, управне одборе, борд директора, ...

Методе ELECTRE могу се користити за рангирање алтернатива, али аутори препоручују да се равноправно разматрају све алтернативе које су језгро и да релевантни органи донесу коначну одлуку.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aleksic Z., Aleksic V., Anic I.(2011).*Location selection for sports facilities construction by electre multi-criteria decision making method*, Spofa 2011.
- [2] Roy, B.(1985).*Methodologie multicritere d'aide a la decision*. Economica.
- [3] Slovic P., Kahneman D., Tversky A.(1982). *Judgement under uncertainty: heuristics and biases*. Cambridge University Press.
- [4] Anic I., Aleksic V. (2009), *Ranking of alternatives in ELECTRE methods with applications in the construction industry*, SYM-OP-IS 2009, 209-213



ПРИМЕНА АХП МЕТОДЕ КОД ПРОЈЕКТОВАЊА ПУТЕВА НА НИВОУ ГЕНЕРАЛНОГ ПРОЈЕКТА

AHP METHOD APPLICATION IN ROADS DESIGN ON THE LEVEL OF GENERAL PROJECT

ЉУБО МАРКОВИЋ

Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, ljubo.markovic@pr.ac.rs

ЉИЉАНА МИЛИЋ МАРКОВИЋ

CeS.COWI d.o.o, Београд, Јужни Булевар 1/4, ljmm@cescowi.rs

ВЕЛИМИР ДУТИНА

Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, velimir.dutina@pr.ac.rs

МИЉАН КОВАЧЕВИЋ

Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, miljan.kovacevic@pr.ac.rs

Резиме: Пројектовање путева представља сложен процес доношења одлука чији основни циљ треба да буду реализација пројекта пута и његова експлоатација у ужем смислу, али и омогућавање мобилности, привредног развоја подручја и побољшање квалитета живота у ширем смислу. Све ово захтева сагледавање и разумевање многих проблема који су вишекритеријумске природе. Основни циљ рада је да се на реалном примеру објасни улога и значај методе вишекритеријумског вредновања. Презентована је теоријска поставка методе АХП. Применом ове методе извршено је рангирање понуђених алтернативних решења трасе аутопута Е-763 Београд - Јужни Јадран (деоница Пожега - Бољаре). Рангирање је извршено је на основу 12 критеријума. Прорачун је изведен применом програмског пакета Expert Choice 2000 и извршена је анализа добијених резултата.

Кључне речи: пројектовање путева, вишекритеријумско вредновање, АХП метода, рангирање, алтернативно решење, критеријуми.

Abstract: Designing road projects involves a complex decision-making process whose objectives should be the implementation of the road design and its utilization in the narrowest sense, but also the facilitation of mobility, economic development of the area and improvement of the quality of life in a wider sense. All of this requires the consideration and understanding of many problems of a multi-criterial nature. The main goal of this paper is to use a real example to explain the role and significance of multi-criteria evaluation methods. The theoretical steps of multi-criteria evaluation are presented (the AHP method). Using multi-criteria evaluation method ranking was carried out of the alternative solutions offered for the E-763 highway route Belgrade - South Adriatic (Požega – Boljare section). Ranking was carried out on the basis of 12 criteria. The calculation was performed by using the software package Expert Choice 2000 and an analysis of the results obtained was carried out.

Keywords: road design, multi-criteria evaluation, AHP methods, ranking, alternative solution, criteria.

1. УВОД

Саобраћај, као организована делатност транспорта људи и робе, представља један од основних предуслова за динамичан привредни раст једне земље, доприноси повећању продуктивности, конкурентности, запослености и брзој и квалитетнијој размени добара и услуга са окружењем и светом. Саобраћај је основни чинилац, не само развоја друштва, већ и опстанка одређене друштвене заједнице. Ова делатност представља “друштвени крвоток”, а подручја где не досежу “саобраћајне артерије” демографски одумиру.

2. ВРЕДНОВАЊЕ ПРОЈЕКТНИХ РЕШЕЊА ПУТЕВА

Пројектовање путева, од идентификације пројекта преко одабира трасе и крајње реализације пројекта до његове евалуације, представља дуг и сложен процес. Резултат процеса пројектовања представљају понуђена алтернативна решења на одговарајућим подлогама. У циљу избора најповољнијег и доношењу одлуке о преласку у следећу фазу пројектовања, понуђена алтернативна решења подлежу процедури вредновања. Под појмом вредновање подразумева се процес оцењивања који укључује поступке дефинисања критеријума (параметре перформанси алтернатива) и

показатеља (реалне вредности за сваки критеријум) релевантних за оцењивање понуђених алтернативних решења. Да би вредновање довело до оптималних решења, треба да се заснива на:

- економском вредновању - процењује се допринос пројекта економској добробити земље;
- процени утицаја на животну средину - подразумева процену утицаја путног објекта (постојећег и новоизграђеног или рехабилитованог) на животну средину;
- финансијском вредновању - спроводи се у поступку обезбеђивања инвестиционих средстава за реализацију оптималног пројектног решења.

3. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ВРЕДНОВАЊЕ

Вишекритеријумско вредновање подразумева доношење одлука у случајевима када постоје вишеструки и међусобно конфликтни критеријуми [1]. У зависности од природе сваког конкретне проблема, могућа су три основна приступа његовом решавању: проблем рангирања - рангира се скуп свих алтернатива (пројеката) од „најбоље“ до „најлошије“; проблем избора једне алтернативе - врши се избор „најбоље“ алтернативе; проблем избора више алтернатива - бира се више алтернатива, када се полазећи од највишег ранга усваја унапред дефинисан број алтернатива [2].

4. АНАЛИТИЧКИ ХИЈЕРАРХИЈСКИ ПРОЦЕС - АХП МЕТОДА

Аналитички хијерархијски процес (АХП) представља једну од најчешће коришћених вишекритеријумских метода у случајевима када се избор неке од расположивих алтернатива или њихово рангирање, базира на више атрибута који имају различиту важност и који се изражавају помоћу различитих скала. АХП метода омогућава флексибилност процеса одлучивања и помаже доносиоцима одлука да поставе приоритете и донесу квалитетну одлуку [3]. АХП омогућава интерактивно креирање хијерархије проблема као припрему сценарија одлучивања, а затим вредновање у паровима елемената хијерархије (циљева, критеријума и алтернатива) у *top-down* смеру [4]. Поред тога, током вредновања елемената хијерархије, проверава се конзистентност резонанца доносиоца одлука и утврђује исправност добијених рангова алтернатива и критеријума, као и њихових тежинских вредности.

Издајају се четири корака ове методе:

- структурирање проблема – хијерархијски структуриран модел одлучивања у општем случају састоји се од циља, критеријума, неколико нивоа подкритеријума и алтернатива;
- прикупљање података и њихова анализа - доносилац одлуке додељује релативне оцене за парове критеријума једног хијерархијског нивоа и то за све нивое целокупне хијерархије. При томе се користи Сагијева скала вредновања [5];
- израчунавање релативних тежина критеријума - матрица поређења по паровима се преводи у проблем одређивања сопствених вредности, ради

добивања нормализованих и јединствених сопствених вектора тежина за све критеријуме на сваком нивоу хијерархије. Тежински коефицијенти се рачунају за сваки елемент на датом нивоу [6];

- Одређивање решења проблема – подразумева се налажење тзв. композитних нормализованог вектора. Након што се одреди вектор редоследа активности критеријума у моделу у наредном кругу потребно је утврдити редослед важности алтернатива у моделу у оквиру сваког посматраног критеријума.

Степен конзистентности CR израчунава се по формули:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

где је: CI - индекс конзистентности

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

λ_{max} - максимална сопствена вредност матрице поређења

$$\lambda_{max} = \sum_{u=1}^n \lambda_u \quad (3)$$

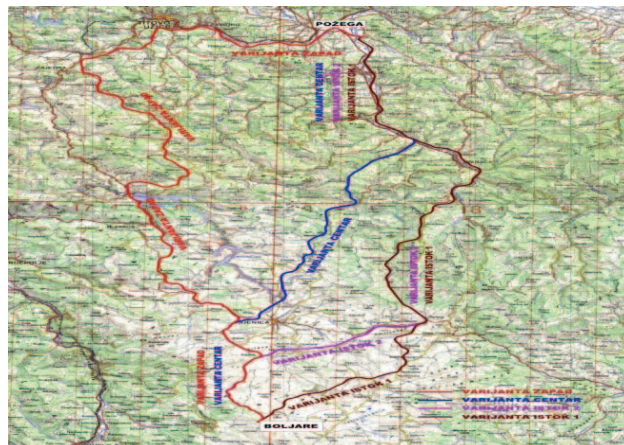
RI - случајни индекс који зависи од реда матрице поређења [4].

Ако је степен конзистентности CR мањи од 0.10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна. У пракси се дешава да степен конзистентности буде већи од 0,10, а да се изабрана алтернатива ипак задржи као најбоља.

5. ВРЕДНОВАЊЕ ПОНУЂЕНИХ РЕШЕЊА АХП МЕТОДОМ

5.1. Предмет вредновања

У оквиру Генералног пројекта аутопута Е-763 Београд - Јужни Јадран [7] на делу од Пожеге до границе са Црном Гором (Бољаре), пројектоване су четири пројектна решења: Запад; Центар; Исток 1 и Исток 2 (слика 1). Вишекритеријумским вредновањем понуђених решења пројекта треба одабрати најприхватљивије да би се прешло на даљу израду пројектне документације.



Слика 1 – Предложена решења трасе аутопута[7]

5.2. Циљеви, критеријуми и показатељи вредновања

Циљеви пројекта:

- подизање нивоа услуге за прогнозиране саобраћајне токове на путној мржи у коридору планираног аутопута;
- побољшање нивоа безбедности саобраћаја за прогнозиране саобраћајне токове на путној мрежи у коридору планираног аутопута;
- смањење експлоатационих трошкова корисника за прогнозиране саобраћајне токове на путној мрежи у коридору планираног аутопута;
- омогућавање оптималне опслужености високо капацитивном и квалитетном саобраћајницом постојећих насеља, функционалних целина и путне мреже;

- максимално очување животне средине у коридору планираног аутопута;
- омогућавање бржег развоја гравитационог подручја.

Вишекритеријумско вредновање алтернативних решења пројекта подразумева разматрање са више аспеката: инвестиционо-грађевински, саобраћајно-експлоатациони, просторно-урбани, еколошки и социо-економски. На основу тога, изабрани су критеријуми који су разрађени кроз одговарајуће показатеље. У табели 1 приказани су изабрани критеријуми и одговарајући показатељи.

Табела 1 – Изабрани критеријуми и одговарајући показатељи

Критеријуми	ехт.	Показатељи
Инвестициони трошкови грађења	мин	Претходни и припремни радови; Доњи stroj Дренажање и одводњавање; Горњи stroj Денивелсане раскрснице; Објекти заштите животне средине Измештање саобраћајница и других инсталација; Саобраћајна сигнализација
Експлоатациони трошкови корисника	мин	Трошкови горива; Трошкови мазива; Трошкови пнеуматика Трошкови одржавања и оправки; Додатни трошкови Временско зависни трошкови (амортизација, камата, режија, плате)
Трошкови одржавања	мин	Дужина (км) Трошкови одржавања (редовног, зимског и повећаног)
Укупни трошкови саобраћајних незгода	мин	Број незгода (број погинулих, број повређених, материјална штета) Последице незгода (број погинулих, број повређених, материјална штета)
Време путовања	мин	Дужина (км); Подужни нагиб (%); Брзина (км/х)
Колизација варијанти аутопута са насељима	мин	Обрадиво земљиште; Шуме; Урбанизовано подручје; Ливаде и пашњаци; Воћњаци и виногради.
Просторни сукоб са постојећом наменом површина	мин	Однос коридора АП према зонама становања; Однос коридора АП према радним зонама; Однос трасе АП према постојећој структури коришћења земљишта.
Деградиција могућности будућег уређења простора	мин	Коридор ограничава даљи развој и пресеца насеља; коридор пролази на мањој удаљености од 500м и делимично ограничава даљи развој насеља; коридор пролази на већој удаљености од 500м и не ограничава даљи развој.
Функционалност повезивања просторних целина и активирања развојних потенцијала	мах.	Функционално повезивање насеља: коридор повезује 6 и више насеља (општинских центара); коридор повезује до 5 насеља (општинских центара); Могућност активирања туристичких потенцијала: коридор повезује већи број зона и локалитета; коридор повезује мањи број зона и локалитета; коридор не повезује ни једну туристичку зону и локалитет.
Уништавање културних и природних вредности	мин	Споменици културе и археолошка налазишта у зони утицаја; Заштићена природна добра у зони утицаја.
Однос према еколошким последицама	мин	Бука ; Аерозагађење; Загађење вода; Загађење тла; Флора и фауна; Вибрације; Остало.
Утицај на друштвени развој и индиректне економске ефекте	мах.	Развој туризма; Развој пољопривреде; Промене у структури запошљавања; Повећање рентног потенцијала земљишта; Измена вредности некретнина; Заустављање одлива становништва; Повећање квалитета живота.

5.3. Избор најповољније алтернативног решења трасе методом АХП

Проблем избора најповољније алтернативна решења декомонује се у други хијерархијски ниво кога сачињавају критеријуми и директно је повезан са алтернативним решењима. У овом случају, 12 критеријума груписано је у четири целине:

- трошкови;
- време путовања;
- просторни аспекти;
- еколошки и социолошки аспекти.

На основу процене експерата, генерисана је, помоћу Сатијеве скале, одговарајућа матрица поређења (табела 2) како би се исказала релативна важност међу четири групе критеријума (Трошкови- *тр*, Време путовања - *вр*, Просторни аспект - *пр*, Еколошки и социолошки аспект - *екс*):

Табела 2 - Матрица поређења

$$\begin{bmatrix} 1 & vr/tr & pr/tr & eks/tr \\ vr/tr & 1 & vr/pr & vr/eks \\ pr/tr & pr/tr & 1 & pr/eks \\ eks/tr & eks/tr & eks/pr & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 \\ 0,50 & 1 & 3 & 6 \\ 0,25 & 0,33 & 1 & 2 \\ 0,25 & 0,17 & 0,50 & 1 \end{bmatrix}$$

Матрице упоредне анализе понуђених варијантних решења на основу четири групе критеријума приказани су у табеларно (табеле 3-6):

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0,046244 \\ 0,5590 \\ 0,17859 \\ 0,21286 \end{bmatrix}$$

Табела 3 - Критеријум трошкова

Трошкови (тр)	Запад	Центар	Исток 1	Исток 2
Запад	1	1/7	1/6	1/5
Центар	7	1	6	5
Исток 1	6	1/6	1	1/2
Исток 2	5	1/5	2	1

Табела 4 - Критеријум време путовања

Време путовања (вр)	Запад	Центар	Исток 1	Исток 2
Запад	1	1/7	1/5	1/6
Центар	7	1	2	3
Исток 1	5	1/2	1	1/2
Исток 2	6	1/3	2	1

Табела 5 - Критеријум просторни аспекти

просторни аспекти (пр)	Запад	Центар	Исток 1	Исток 2
Запад	1	1/9	1/5	1/5
Центар	9	1	5	2
Исток 1	5	1/5	1	2
Исток 2	5	1/2	1/2	1

Табела 6 - Еколошки и социолошки аспекти

екол. и социјални аспекти (екс)	Запад	Центар	Исток 1	Исток 2
Запад	1	1/7	1/7	1/4
Центар	7	1	2	4
Исток 1	7	1/5	1	2
Исток 2	4	1/4	1/2	1

Одређивање релативних тежина из матрица поређења алтернативних решења на основу критеријума:

$$\begin{aligned} (\text{тр}) &= \begin{bmatrix} 0,0433 \\ 0,623 \\ 0,138 \\ 0,195 \end{bmatrix} & (\text{вр}) &= \begin{bmatrix} 0,05 \\ 0,482 \\ 0,20 \\ 0,26 \end{bmatrix} \\ (\text{пр}) &= \begin{bmatrix} 0,0462 \\ 0,552 \\ 0,213 \\ 0,189 \end{bmatrix} & (\text{екс}) &= \begin{bmatrix} 0,0488 \\ 0,50 \\ 0,297 \\ 0,154 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

5.3.1. Одређивање решења проблема

Матрица укупне тежине за све четири алтернативна решења (Запад, Центар, Исток 1, Исток 2):

Резултати испитивања конзистентности резултата:

$$\lambda_{\max} = 4.0747 \quad CI = 0.002491$$

$$CR = 0,0277 < 0,10$$

На основу датих критеријума и оцена поређења парова алтернативних решења и критеријума, рангирање варијанти помоћу методе АХП дало је следеће резултате (табела 7):

Табела 7 – Резултати рангирања

Ранг	Алтернативно решење	Тежина алтернативног решења
1	Центар	0.5590
2	Исток 2	0.21286
3	Исток 1	0.17859
4	Запад	0.046244

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је на анализиран проблем одређивања најповољнијег алтернативног решења трасе Генералног пројекта аутопута Е 763 Београд – Јужни Јадран. Коришћена је методе вишекритеријумског вредновања (метода АХП). Дефинисани су циљеви, одређени критеријуми и показатељи и одређене њихове тежине. Извршено је вредновање предложених алтернативних решења. Добијени резултати су показали да је варијанта „Центар“ најповољније решење трасе коридора пројекта аутопута Е763 Београд - Јужни Јадран.

И поред неспорног квалитета, треба нагласити да успешност примене АХП методе у процесу одлучивања у великој мери зависи од могућности и искуства доносиоца одлуке. Донсилац одлуке мора бити у стању да одреди важност сваког критеријума. Посебно се истиче значај непристрасног дефинисања тежинских коефицијената за поједине критеријуме, јер изабрано решење најчешће није подједнако прихватљиво за инвеститора, локалну заједницу или друге заинтересоване стране.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Marković, Lj., Cvetković, M., Milić Marković, Lj., „Multi-Criteria Decision-Making when Choosing Variant Solution of Highway Route at the Level of Preliminary Design“ *FACTA UNIVERSITATIS Series Architecture and Civil Engineering*, 11(1) (2013) 71-87.
- [2] Lu, J., Zhang, G., Ruan, D., Wu, F., *Multi-Objective Group Decision Making Methods, Software and*

- Applications With Fuzzy Set Techniques. Imperial College Press, London, pp. 1-21, 29-35, 2007.
- [3] Saaty, T. L., Kearns, P., K., „Analytical Planning, The Organization of Systems“, *The Analytic Hierarchy Process Series*, Vol. IV, RWS Publications, 1991.
- [4] Saaty, T., L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York, 1980.
- [5] Coyle, G., *Practical Strategy*, Open Access Material. AHP, Pearson Education Limited, 2004.
- [6] Saaty, T., *Multicriteria Decision Making*, vol. 1: The Analytical Hierarchy Process—Planning, Priority Setting, Resource Allocation, University of Pittsburgh, Pittsburgh, 1990.
- [7] Саобраћајни Институт ЦИП : ГЕНЕРАЛНИ ПРОЈЕКАТ АУТОПУТА Е-763 БЕОГРАД – ЈУЖНИ ЈАДРАН, Сектор III: Пожега – граница са Црном Гором (Бољаре), Књига 6: Вредновање и рангирање варијантних коридора, 2007.

ПРИЛОГ ИСПИТИВАЊУ ТАЧНОСТИ 3D-МОДЕЛА ГРАЂЕВИНСКИХ ОБЈЕКТА ДОБИЈЕНИХ ФОТОГРАМЕТРИЈСКОМ МЕТОДОМ

CONTRIBUTION OF QUESTIONING ACCURACY 3D MODEL OF BUILDINGS OBTAINED THROUGH PHOTOGRAMMETRIC METHOD

МИРОСЛАВ МАРЧЕТА

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, gmarceta@sezampro.rs

СЛАВОЉУБ ТОМИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, tomiclavoljub@viggs.rs

Резиме: Генерисање 3D-модела грађевинских објеката постаје свакодневни захтев, што је условило развој више метода прикупљања и обраде података за ове намене. Фотограметријска метода се показала као веома погодна за потребе израде 3D-модела већине грађевинских објеката. У раду су посебно анализирани аспекти геометријске тачности 3D-модела објеката који су израђени применом фотограметријске методе.

Кључне речи: 3D-модел, фотограметрија, калибрација, тачност.

Abstract: Generate 3D models of buildings becomes daily requirements, which resulted in the development of several methods of collecting and processing data for these purposes. Photogrammetric method has proved to be very suitable for the needs of the majority of 3D models of buildings. The paper analyzes the specific aspects of geometric accuracy 3D models of objects that are made by using photogrammetric methods.

Keywords: 3D models, photogrammetry, calibration, accuracy.

1. УВОД

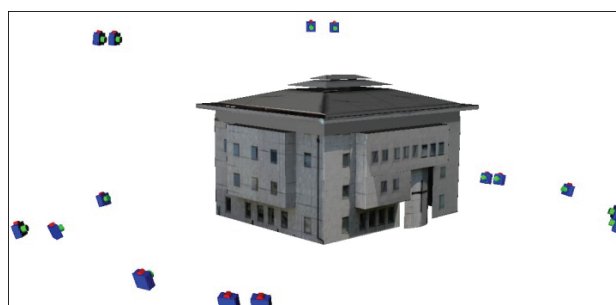
Савремени трендови технолошког развоја у области грађевинског инжењерства условили су неопходност примене најмодернијих достигнућа информатичке технологије. Наведено се посебно односи на геопросторно моделовање и приказивање грађевинских објеката, где су се као најпогодније решење наметнули 3D модели терена и објеката. За ове сврхе развијено је више типова 3D модела објеката, а такође и више метода аквизиције података за њихво генерисање.

У овом раду се разрађује фотограметријска метода прикупљања података за генерисање 3D модела грађевинских објеката, као метода која се препоручује својом ефикасношћу, економичношћу. Посебно се анализирају аспекти тачности тако прикупљених података, као основни предуслов за примену ове методе у случајевима где је захтевана висока тачност, а то је свакако генерисање 3D модела грађевинских објеката.

2. ДОБИЈАЊЕ 3D-МОДЕЛА ОБЈЕКТА ФОТГРАМЕТРИЈСКОМ МЕТОДОМ

Израда 3D-модела објеката фотграметријском методом се може се извести:

- конвенционалном фотограметријском реституцијом снимака објекта начињених са више стајалишта (Сл.1) и
- фотограметријским „просторним скенирањем“ (Сл.2)



Слика 1: Снимање објекта са више стајалишта



Слика 2: Скенирање објекта

За инжењерску примену просторних модела објеката од посебног је значаја тачност 3D-координата сниманог објекта [2]. Такође, на основу низа теоретских и емпиријских разматрања, констатовано је да најзначајнији утицај на тачност 3D-координата, добијених на поменути начин, има тачност елемената унутрашње оријентације фотографске камере, односно резултати калибрације камере за снимање:

$$c, x'_0, y'_0, K_1, K_2, K_3, p_1, p_2, Sx', Sy' \quad (1)$$

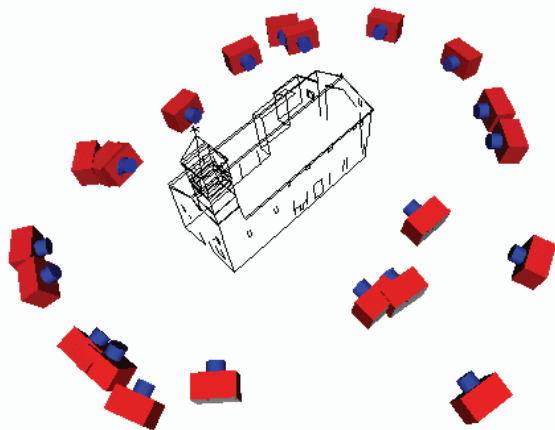
Где су:

- c – жижна даљина камере за снимање,
- x'_0, y'_0 - централна тачка дигиталног снимка,
- K_1, K_2, K_3 - коефицијенти радијалне дисторзије објектива камере,
- p_1, p_2 - коефицијенти тангенцијалне (децентрирајуће) дисторзије објектива,
- Sx', Sy' - фактор размере пиксела на CCD-чипу у правцу x и y осе.

Овим елементима се коригују сликовне координате (x'_i, y'_i) тачака снимљеног снимљеног објекта, без обзира да ли су оне добијене конвенционалном фотограметријском реституцијом или фотограметријским “просторним скенирањем”.

Имајући ово у виду, за добијање високе тачности, неопходно је извршити “калибрацију” камере за снимање, односно одређивање наведених параметра и кориговање мерених сликовних координата тачака објекта (нпр. Brown-овом формулом).

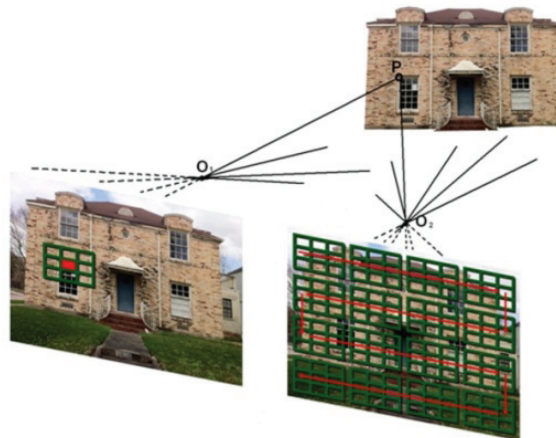
Калибрација камере за снимање се данас изводи посебним поступцима и процедурама уз примену одговарајућих софтверских решења, који захтевају, не само посебну пажњу и одређено време, већ и посебне услове.



Слика 3: Објекат снимљен са више снимака

Код најсавременијег фотограметријског поступка израде 3D-модела примењује се метода “аутоматске корелације дигиталних слика” (Сл.4), којом се аутомат-

ски долази до веома великог броја 3D-координата тачака снимљеног објекта (“облак тачака”).



Слика 4: Два дигитална снимка објекта

Теоретска основа фотограметријског скенирања заснива се на аутоматском мерењу великог броја сликовних координата тачака снимљеног објекта, одсликаног на већем броју добро распоређених дигиталних снимка, и одређивању његових просторних 3D-координата“ [2].

Процес аутоматског мерења сликовних координата истих тачака, пресликаних на два снимка, који су снимљена са различитих снималишта темељи на корелацији дигиталних снимака (Сл.4) .

На једном снимку се формира матрица узорка (“мала матрица”), која обухвата вредности сивих тонова за задати број пиксела тог снимка. Потом се аутоматским упоређивањем “мале матрице” сивих тонова једног снимка (леви снимак–Сл.4) са сликовном матрицом другог снимка (десни снимак–Сл.4) и sukcesивним рачунањем коефицијента корелације ($\rho_{g_1g_1}$) долази се до „препознавања“ истих тачака на оба снимка, при чему се истовремено аутоматски одређују и њихове сликовне координате. То је тренутак када је срачунати коефицијент корелације ($\rho_{g_1g_1}$), рачунат за матрицу узорка левог снимка и тренутни положај матрице на десном снимку, близак (али увек мањи) јединици.

$$\rho_{g_1g_1} = \frac{\sigma_{g_1g_2}}{\sqrt{\sigma_{g_1}^2 \cdot \sigma_{g_2}^2}} = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K [g_1(r,k) - \mu_1] \cdot [g_2(r,k) - \mu_2]}{\sqrt{\left[\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K [g_1(r,k) - \mu_1]^2 \right] \cdot \left[\sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K [g_2(r,k) - \mu_2]^2 \right]}} \quad (2)$$

$$\rho_{g_1g_1} < 1$$

Где су:

- $\rho_{g_1g_1}$ - коефицијенти корелације,
- $\sigma_{g_1g_1}$ и $\rho_{g_1g_1}$ - показатељи сличности две слике,
- $g_1(r, k)$ – појединачне сиве нијансе матрице прве слике,

- g_2 (r, k) - појединачне сиве нијансе матрице друге слике,
- μ_1 - средња вредност сивих тонова прве слике,
- μ_2 - средња вредност сивих тонова друге слике.

Нађене сликовне координате корелисаних снимка уврсте се у једначине колинеарног пресликавања (3).

$$\begin{aligned} x_p' &= x_0' - c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \\ y_p' &= y_0' - c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (3)$$

Формирање једначина колинеарног пресликавања за сваку, аутоматском корелацијом снимака, добијену сликовну координату снимљеног објекта, по правилу, претпоставља и увршћивање и познатих елемената унутрашње оријентације камере за снимање.

Међутим, савремени софтвери за „фотограметријско скенирање“ базирају се на таквим теоретским поставкама у којима се елементи калибрације камере могу уврстити као познате (2), али и као непознате велеичине, па се због тога једначине колинеарног пресликавања (3) проширују наведеним величинама, које се тада називају „додатним параметрима“:

$$\begin{aligned} x_i' &= F_x(X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, K_i, c, Sx, Sy, x_0', y_0', K_1, K_2, K_3, p_1, p_2, X_i, Y_i, Z_i) \\ y_i' &= F_y(X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, K_i, c, Sx, Sy, x_0', y_0', K_1, K_2, K_3, p_1, p_2, X_i, Y_i, Z_i) \end{aligned} \quad (4)$$

Линеаризовањем ових једначина колинеарног пресликавања Тајлоровим редом долази се до једначина поправака и коначно до нормалних једначина следећег облика:

$$\begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & N_{13} \\ N_{21} & N_{22} & N_{23} \\ N_{31} & N_{32} & N_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Где су:

- x_1 - непознате координате тачака сниманог објекта („облак тачака”),
- x_2 - непознати елементи спољне оријентације снимака,
- x_3 - додатни параметри (елементи унутрашње оријентације камере).

Примене поменуте технологије одређивања 3D-координата тачака снимљеног објекта, методом „фотограметријског скенирања” простора (Сл.3), могу се провести кроз делимично аутоматизован или потпуно аутоматизован поступак [1].

Делимично аутоматизован поступак подразумева претходно одређивање елемената унутрашње оријентације фотографске камере, неким од познатих поступака калибрације, који се затим уносе у одговарајуће једначине колинеарног пресликавања [3].

Потпуно аутоматизован поступак подразумева и “симултано калибрисање” камере за снимање, које се одвија у процесу изравнања, као изравнање са “додатним параметрима” [5], односно истовремено се обавља одређивање параметра калибрације камере и 3D-просторних координата снимљеног објекта. У овом случају није потребно унапред познавати елементе унутрашње оријентације коришћене фотографске камере.

3. УТИЦАЈ ПОСТУПАКА КАЛИБРАЦИЈЕ КАМЕРЕ НА ТАЧНОСТ 3D-МОДЕЛА

Како је већ констатовано [2] да тачност 3D-координата снимљеног објекта веома зависи од тачности одређивања елемената унутрашње оријентације камере за снимање, извршено је испитивање примене елемената калибрације камере, добијених “симултаним калибрисањем” у конвенционалним поступку мерења сликовних координата снимљеног објекта.

Тест-објекат, ширине око 10 m, сниман је са више снимака, са растојања од око 15 m фотографском камером Canon 550d која има резолуцију дигиталних снимака од 18 MP. За потпуно аутоматско фотограметријско „скенирање“ објекта (са симултаним калибрисањем камере за снимање) на коме се налазило 85 предходно сигналисаних тачака, коришћен је софтвер Agisoft Photoscan Истовремено, за конвенционално фотограметријско мерење 85 сликовних координата сигналисаних тачака објекта (уз коришћење истих дигиталних снимака који су коришћени у Agisoftu) примењен је софтвер Photomodeler.

Тоталном станицом Leica TS30 стандардним геодетским поступком, са високом тачношћу су одређене 3D-координате наведених сигналисаних тачака на објекту. У даљем поступку оцене тачности 3D-координата добијених фотограметријском методом, геодетски добијене координате су третиране као „истините” вредности.

Важно је напоменути и да су елементи унутрашње оријентације камере, који су одређени „симултано калибрацијом“ у процесу фотограметријског „скенирања“, коришћени као познати у софтверу Photomodeler при конвенционалном фотограметријском мерењу сликовних координата тачака објекта.

Прецизност 3D-координата (m_x, m_y, m_z), које су у овом процесу срачунате, проистекла је из посредног изравнања „снопова зрака“ и износи:

$$\begin{aligned} m_x &= \pm(3.49 - 5.00)mm; & m_y &= \pm(1.98 - 4.03)mm; \\ m_z &= \pm(1.62 - 3.14)mm \end{aligned}$$

Тачност 3D-координата, проистекла из упоређења координата тачака сниманог објекта са „истинитим” вредностима истих тачака, које су добијене геодетским високотачним мерењем тоталном станицом Leica TS30 износила је:

$$\sigma_x = \pm 12.2 \text{ mm}; \quad \sigma_y = \pm 24.1 \text{ mm}; \quad \sigma_z = \pm 25.8 \text{ mm}$$

Прецизност 3D-координата, која се добија када се сликовне координате истих тачака мере и одређују у поступку изравнања „снопова зрака“, где су претходно у процес унети елементи калибрације камере одређени строгим посебним поступком, се кретала:

$$m_x = \pm(0.24 - 0.35) \text{ mm}; \quad m_y = \pm(0.14 - 0.26) \text{ mm}; \\ m_z = \pm(0.11 - 0.22) \text{ mm}$$

Тачност 3D-координата, добијена из упоређења 3D-координата које су произишле из поменутог изравнања, са њиховим тз. „истинитим“ вредностима (из геодетског мерења високотачним ласерском тоталном станицом Leica TS30), износила је:

$$\sigma_x = \pm 1.06 \text{ mm}; \quad \sigma_y = \pm 0.91 \text{ mm}; \quad \sigma_z = \pm 1.09 \text{ mm}$$

5. ЗАКЉУЧАК

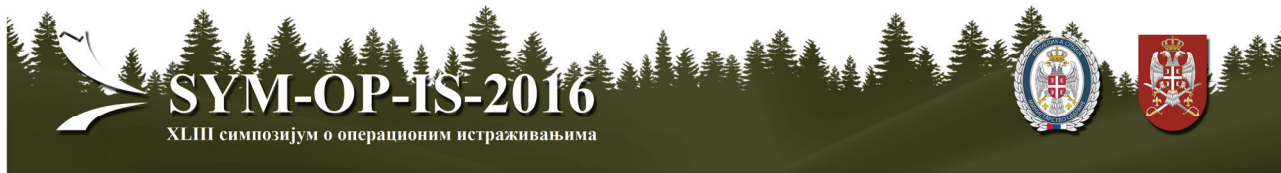
Ова емпиријска анализа јасно показује да елементи унутрашње оријентације, који се добијају аутоматским поступком симултаног калибрисања фотографске камере, који се остварује у току самог аутоматског поступка фотограметријског „просторног скенирања“

објеката, по тачности задовољавају процесе израде 3D-модела објекта у циљу визуелне просторне презентације, планирања и анализе простора.

Међутим, када се тачке објеката и простора, уопште, чије се 3D-координате одређују фотограметријском методом, користе за различите инжењерске или намењене где се захтева висока тачност, неопходна је свеобухватна, строга и посебна калибрација фотографске камере за снимање.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Luhmann, T., *Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, Wichmann, VDE-Verl., Berlin, 2010.
- [2] Марчета, М., Томић, С., *Примена блископредметног фотограметријског скенирања код инжењерских радова*, XLII Симпозијум о операционим истраживањима, 2015, Vol. V(1).
- [3] Kraus, K., *„Photogrammetrie“*, Band 2, Dümmler Verlag, Bonn, 1984.
- [4] Марчета, М., *„Ффотограметрија и даљинска детекиција“*, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, 2007.



СЕНЗОРСКИ МОНИТОРИНГ ЖЕЛЕЗНИЧКИХ МОСТОВА

SENSOR MONITORING OF RAILWAY BRIDGES

ПРЕДРАГ ВУЛЕТИЋ

„Србија воз“ а.д., Београд, pedjanalog@gmail.com

Резиме: Употреба health card system технологија у железничкој инфраструктури и на железничким возилима, са одговарајућом базом података, омогућава идентификацију разних неправилности у функционисању система. Циљ таквог надгледања са благовременим упозорењима је стварање предуслова за већу безбедност и оптимизацију саобраћајних процеса. У овом раду дат је предлог имплементације интелигентних сензора на железничким мостовима, као и њиховог умрежавања унутар health card sistema.

Кључне речи: health card system, железничка инфраструктура, WSN, Cloud.

Abstract: Using the health card system technology in rail infrastructure and railway vehicles, with appropriate database, enables identification of various irregularities in the functioning of the system. The aim of such surveillance with timely warning is to create conditions for greater security and optimization of transport processes. This paper presents a proposal for implementation of intelligent sensors on railway bridges, as well as their networking within the health card system.

Keywords: health card system, railway infrastructure, WSN, cloud.

1. УВОД

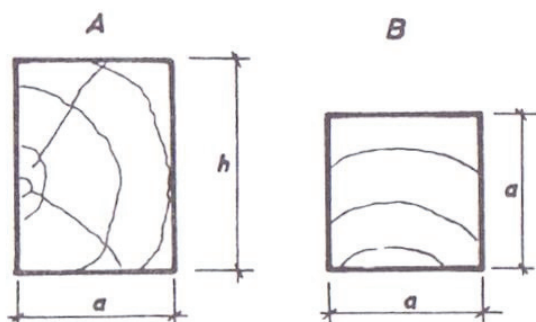
Употребом health card (НС) система у железничком саобраћају може се идентификовати велики број узрочника који изазивају несреће и представљају сталну претњу за безбедност и поузданост железничког саобраћаја на постојећој железничкој инфраструктури. Осим појединачног и групног праћења стања железничке инфраструктуре предмет праћења је исправност средстава железничког превоза. Генерално посматрано фузијом активности ове две целине унутар НС система може се утицати на повећање постојећег нивоа сигурности путника и робе у железничком саобраћају, а самим тиме и на пословање предузећа. Појавом решења која су заснована на IoT технологији стварају се услови за повећање ефикасности НС система [1]. Имплементацијом интелигентних сензора унутар железничке инфраструктуре и њиховим умрежавањем и повезивањем са централним системом за менаџмент железничког саобраћаја могу се прибавити све релевантне информације које прате стање железничке инфраструктуре и помажу при доношењу одговарајућих одлука и изради техничких решења која повећавају ниво безбедности и елиминирају претњу по животе путника и оштећење и губитак робе. Бројни су примери који указују да стање није на задовољавајућем нивоу или оно у перспективи може представљати озбиљну претњу по безбедност

саобраћаја. Разлог углавном лежи у чињеницама да у великом броју земаља (пре свега у земљама у развоју као што је Република Србија) није адекватно улагано у одржавање и ревитализацију постојеће железничке инфраструктуре и да је постојећа комуникациона инфраструктура застарела. Једно од горућих питања је како пратити стање дрвених прагова на железничким пругама. Ови прагови и данас представљају претежно решење чак и у развијеним земљама, иако је у последње време оријентација железничких компанија усмерена на бетонске прагове. Пракса је показала да су критичне тачке унутар железничке инфраструктуре како са аспекта безбедности, тако и са аспекта инвестиционог одржавања железнички мостови [2]. Идеја овог рада је да се кроз примену сензора и њиховог умрежавања информације пренесу до централног система за менаџмент или у случају прекида комуникације до машиновођа у локомотивама. Две врсте информација су од круцијалног значаја за праћење безбедности саобраћаја на железничком мосту и за предузимање адекватних мера:

- Информације добијене кроз праћење и анализу пруге и дрвених прагова.
- Информације о оптерећености конструкције моста које се добијају кроз обраду података добијених даљинским надгледањем.

2. УПОТРЕБА СЕНЗОРА КОД ДРВЕНИХ ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ПРАГОВА

Стање у којем се налазе дрвени прагови на железничким пругама је од велике важности за безбедно одвијање железничког саобраћаја. Иако су скупљи од бетонских прагова, они се још увек користе због лаке уградње, обраде, веће еластичности и мање захтевности у погледу застора и подлоге [3]. За израду ове врсте прагова користе се тзв. „тврда“ дрва као што су буква, храст лужњак и бељик, а у неким земљама и специјална "егзотична" дрва, као што су нпр. азобе, јарах и кедар која поседују изванредне механичке особине и трајност. Међутим, влага и оптерећење су фактори који битно утичу на стање у којем се налазе дрвени прагови. Да би се могло пратити њихово стање, неопходно је да се у процесу експлоатације успостави ефикасан мониторинг ових параметара применом различитих врста сензорских технологија. Прикупљене информације су значајне, јер помажу да се идентификују напрстине, али и изврши предикција пуцања прагова, поготово применом сензора који региструју прекомерна оптерећења на возовима који утичу како на испадање прагова из лежишта, тако и на само испадање железничког возила из шинског строја. Осим наведеног, применом паметних сензора могу се добити информације и о другим инцидентним ситуацијама које могу настати услед природних непогода, поплава, пожара, земљотреса и разних видова диверзија. Уградњу паметних сензора у железничке прагове је најбоље вршити приликом њихове израде. Током израде прагова дрво се импрегнира уз услов да је дрво квалитетно и са степеном влаге који не сме бити већи од 22%. У супротном, антисептици који се користе за импрегнацију не могу да продру до ћелија дрвета. Дакле, улога сензора је да континуално мере степен влаге у праговима у процесу њихове израде и касније у експлоатацији. Када су у питању железнички мостови углавном се користе прагови за мостну градњу (Слика 1) [4].



Слика 1: Облици мостне граде А и В

Имајући у виду све специфичности и додатне захтеве који карактеришу железничке мостове, намеће се потреба да сензори који прате стање прагова буду робусне израде, јер железничко окружење утиче на појаву електромагнетних сметњи индукованих од рада воза, механичке ударе и вибрације. У ту сврху, за потребе мерења вибрација на самој конструкцији железничког моста се могу инсталирати сензори [5].

За безбедност саобраћаја на железничким мостовима је од велике важности да постоји правовремени и континуални доток информација са сензора постављених на конструкцији моста и са сензора на праговима. Овако прикупљени подаци захтевају примену комплексних алгоритама за њихову обраду као што су неуронски мрежни алгоритми како би се смањила вероватноћа појаве грешака при одлучивању и алармирању могућих критичних догађаја. За примену оваквих сензорских решења од пресудног је значаја напредак у области бежичних технологија.

3. УПОТРЕБА СЕНЗОРА НА И ОКО КОНСТРУКЦИЈЕ МОСТА

Главна намена сензорских уређаја на мосту је да омогуће прикупљање различитих врста података који могу бити од великог значаја за безбедност моста и благовремену примену адекватних мера заштите. У том смислу, могуће је применити комплексан сет различитих сензора којима се врше различита мерења. То се односи на мерења величине притиска на шине, деформације прагова, влажности ваздуха, температуре и сл. [6]. Најчешће се користе две врсте сензора за притисак. Једни се обично постављају на носаче са доње стране моста, а њихова сврха је да тренутно прате све промене притиска које настају при проласку железничких возила и да измерене податке доставе процесној јединици која по одговарајућем алгоритму мери степен деформације прагова и саме пруге. Док се друга врста сензора за притисак поставља на деоници испред железничког моста на шинама. Та врста мери преоптерећеност возова у покрету и сугерише командном центру да ли тај воз уопште и треба због своје масе да пређе преко моста. С' друге стране, да би се примениле адекватне мере заштите у погледу безбедности железничког саобраћаја на мостовима, потребно је поседовати информацију и о влажности ваздуха. Зато се на мосту или близу воде постављају сензори који мере влажност па се на тај начин добијају информације које могу пружити детаљан увид о утицају влажности на стварање корозије, како на мосту, тако и на железничкој прузи. Присуство влаге утиче на деформацију прагова, а у комбинацији са амбијенталним параметрима као што је температура могу значајно да утичу на безбедност. Зато се као додатна мера безбедности, у погледу прикупљања информација користе сензори температуре. Ови сензори мере температуру тла тако што се постављају на земљиште око моста, а важно је истаћи да они могу да региструју и одређена геодетска померања. Употреба мултимедијалних сензора који би директно били повезани са надзорним центром, машиновођом и полицијским надзором је за сад у повоју. Међутим, примена ове врсте сензора била би јако примамљива, јер би омогућавала надгледање моста у реалном времену путем видео и аудио линка, а то доприноси брзом реаговању у ситуацијама када дође до угрожавања саме конструкције објекта или људства [7].

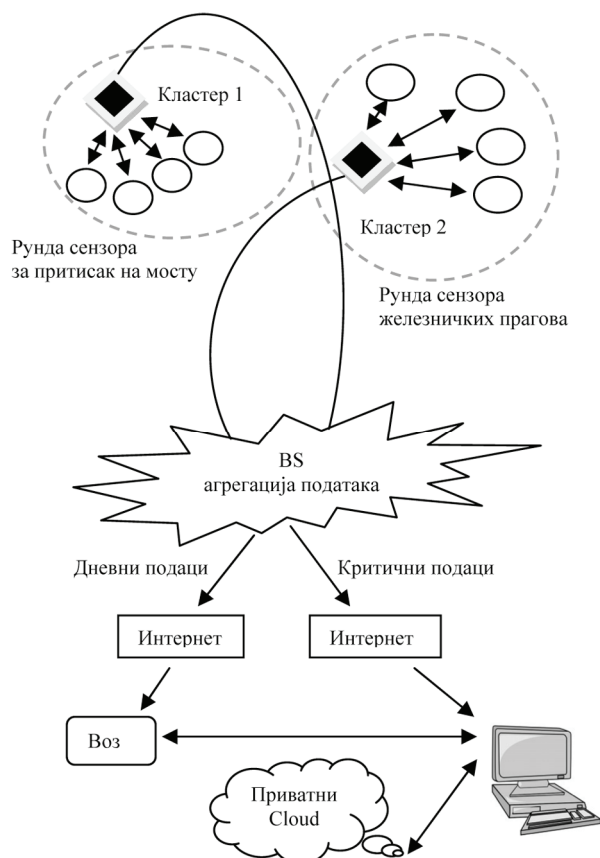
4. ПРЕДЛОГ УМРЕЖАВАЊА СЕНЗОРА НА ЖЕЛЕЗНИЧКИМ МОСТОВИМА У БЕЖИЧНЕ МРЕЖЕ

Имплементацијом интелигентних сензорских чворова прикупљају се велике количине различитих података које треба сегментирати како би се извршила ефикаснија аналитика. Правилно извршена аналитика је предуслов за доношење одлуке о адекватним мерама које треба НС систем да предузме. Прикупљени подаци се уобичајено деле у сегменте у подсистемима обраде, односно пре коначног слања центру за мониторинг. У оквиру Рунде сваки сензор шаље информације у базу података на Кластер ноду [8]. Овде се врши упоређивање података да би се елиминисало „дуплирање“ података. Кластеринг је примењен да би се оптимизовала потрошња и спречило непотребно расипање енергије имајући у виду количину података, фреквенцију преноса и даљину на коју треба пренети податке. Кластер троши највише енергије, јер он прима и обрађује највећу количину података. При креирању Рунде мора се водити рачуна да у свакој од њих буде исти број сензора који се повезују са Кластером, али и да раздаљина између сензора буде оптимална како би се утицало на ефикасност Кластера. Коришћење традиционалних кластеринг алгоритама, нпр. DBSCAN и CURE није одговарајуће за ове сензорске мреже, јер би довела до неадекватног генерисања веза између сензора, односно неки сензори у чвору би престали са радом пре других. Обједињени подаци из базе података Кластера се шаљу и агрегирају у приступном уређају односно на базној станици (енг. *Base Station* - BS) [9]. Да би се обезбедила транспарентна информисаност свих делова информационог система железнице, BS дифузно прослеђује информације на рачунар у железничкој локомотиви и оперативном центру за мониторинг саобраћаја. Оперативни центар је у сталној комуникацији са машиновођом који прати локомотивски компјутер и даје му смернице за даље одлуке које се односе на управљање возом (Слика 2). Квалитет рада оваквог система у великој мери зависи од степена искоришћеност сензорских мрежа које су формиране на железничким мостовима. То значи да је важно да се узму у обзир самоорганизација и координација функција између сензора, приликом извршавања одређених мерења. У овом систему, за комуникацију на L2 слоју се углавном користе бежични MAC (енг. *Medium Access Control*) протоколи [4]:

- TDMA
- EA-TDMA (енг. *Energy-efficient adaptive TDMA*)
- BMA (енг. *Bit Map Assisted Protocol*)
- E-BMA (енг. *Energy efficient Bit Map Assisted Protocol*).

За ефикасно рутирање података на слоју мреже могуће је применити следеће протоколе:

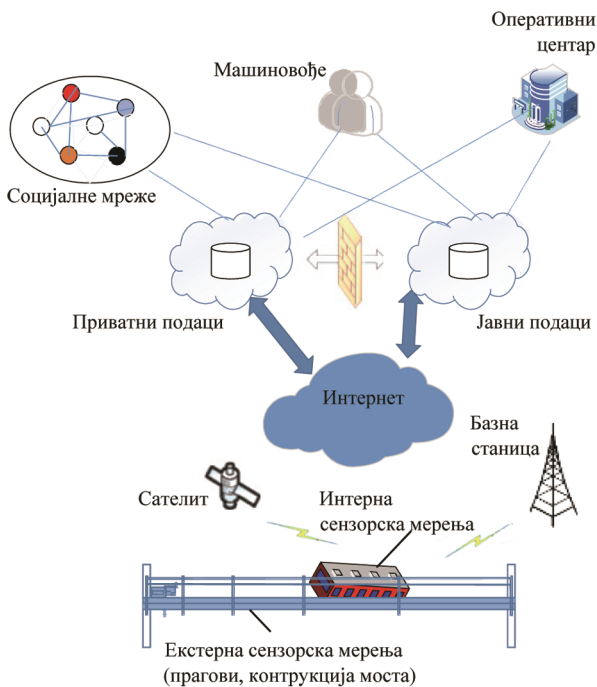
- Flat routing
- Tiny OS Beaconing
- Pulse routing algorithm
- Multilayer Routing



Слика 2: Шематски приказ класификације и преноса података путем WSN

5. ПРИМЕНА АПЛИКАЦИЈА ПОДРЖАНИХ НА CLOUD-У

Да би се повећала ефикасност система на неким железницама у свету је израђена централизација складиштења података па су базе података у оквиру НС система смештене у дата центрима тј. на приватном Cloud-у. Оперативни центар складишта преузима одређене информације са базе података на Cloud-у и спроводи аналитику како би наложио извршавање одређених мера на гарантовању безбедности саобраћаја на железничким мостовима. Намера железничких предузећа је да се имплементацијом Cloud-а и применом одређених апликација умање почетни трошкови, изврши контрола расподеле средстава и на лак и брз развој успостави сарадња са другим системима у облаку. Централизација рада повећава ефикасност управљања, а широки мрежни приступ пружа предност у квалитетном доношењу одлука при критичним ситуацијама. У оквиру система паметне железнице предлаже се изградња хибридног облака. (Слика 3) Наиме, организација послова и природа задатака намећу потребу да се део података који се тичу конкретног железничког предузећа поставе на јавни део Cloud-а, док би други део који се тиче безбедности био доступан свима укључујући и безбедносни структуре, а таква врста информација могла би бити искоришћена у раду надлежних институција при инцидентним ситуацијама на железничким мостовима и другим деловима железничке инфраструктуре.



Слика 3: Архитектура *health card system*-а

5. ЗАКЉУЧАК

Предлог који је дат за имплементацију интелигентних сензора на мостовима као делу железничке инфраструктуре и њихово умрежавање значајно доприноси унапређењу безбедности железничког саобраћаја. Овај вид заштите је од значаја посебно за безбедност старих конструкција које су данас већином на железницама у Републици Србији. Сензори се уграђују у форми структурног мониторинга којим се процењује стање у којем се налазе делови конструкција. У раду је предложено да се информације ради рационализације трошкова, али ефикасније комуникације подаци прикупљени структурним мониторингом пошаљу и сместе на хибридни саобраћајни Cloud. Идеја је да се са Cloud-а обезбеди правремена дистрибуција информација до машиновођа у локомотивама, али и ефикасан приступ одговорним лицима која су обавезна да на време предузму мере које треба да санирају стања на мостовима како би се избегле инцидентне ситуације. Нормално, овако агрегиране информације могу да послуже и приликом утврђивања одговорности у инцидентним ситуацијама. Увођењем интелигентних сензора, као део енг. *health card* железничког система и њиховим повезивањем са Cloud-ом осим на побољшање безбедности саобраћаја, утицало би се и на редукцију трошкова пословања, а људски

фактор био би у служби побољшане контроле надгледања.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Massimo Magrini, Davide Moroni, Giovanni Palazese, Gabriele Pieri, "An Infrastructure for Integrated Management of Urban Railway Crossing Areas," 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2015, pp 42-47.
- [2] Deshan Shan, Chunyu Fu, Qiao Li, "Statistical Pattern Recognition for Railway Bridge Structural Damage Detection," International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, ISDEA 2010, pp. 404-407.
- [3] Jun-Song Fu, Zhen-Jiang Zhang*, Xin-Lei Jin, Zi-Qi Hao, "Smart Subway Information Platform based on Internet of Things," International Journal of Hybrid Information Technology Vol.6, No.6 (2013), pp.177-186
- [4] id, 2003.
- [5] Jiu Jian Zheng, Hongwei Sun, Chao Jiang, "A simplified method of analyzing the transverse vibration of railway bridges," International Conference on Multimedia Technology, ICMT 2011, pp. 1415-1417.
- [6] Xianglei Liu, Xiaohua Tong, Keliang Ding, Xian Zhao, "Measurement of Long-Term Periodic and Dynamic Deflection of the Long-Span Railway Bridge Using Microwave Interferometry," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol.8, no. 9, pp. 4531-4538, Dec. 2015.
- [7] Ying Sun, "Research on the Railroad Bridge Monitoring Platform Based on the Internet of Things," International Journal of Control and Automation Vol.7, No.1 (2014), pp.401-408
- [8] Md. Faruqul Islam, Saurabh Maheshwari, Yogesh Kumar, "Review on Wireless Sensor Network Techniques for Security in Railways," International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering Vol. 3 Issue 5, May-2014, pp: (214-217), Impact Factor: 1.252
- [9] Francesco Flammini, Andrea Gaglione, Francesco Ottello, Alfio Pappalardo, "Towards Wireless Sensor Networks for railway infrastructure monitoring," Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion, ESARS 2010, pp. 1-6.
- [10] Brittany Coats, Sanjeev Acharya, "Bridging Electronic Health Record Access to the Cloud," 47th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2014, pp. 2948-2957.

**ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ ПРИ ИЗБОРУ ОПТИМАЛНЕ
ГЕОДЕТСКЕ ОПРЕМЕ ЗА СНИМАЊЕ ДЕПОНИЈА ГРАЂЕВИНСКОГ
МАТЕРИЈАЛА ПРИМЕНОМ МЕТОДА VIKOR И ELECTRE**

**MULTICRITERIA DECISION MAKING WHEN CHOOSING OPTIMAL GEODETIC
EQUIPMENT FOR SURVEYING BUILDING MATERIAL DUMPS USING THE
METHODS OF VIKOR AND ELECTRE**

СЛОБОДАН ПАНЦИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, slobodanpandzic@vggs.rs

ВУЛЕ АЛЕКСИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, vulealeksic@vggs.rs

СЛАВОЉУБ ТОМИЋ

Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, tomicslavoljub@vggs.rs

ЈАЛЕНА ПАНЦИЋ

Грађевински факултет Универзитета у Београду, jpandzic@grf.bg.ac.rs

Резиме: Грађевинске фирме које се баве прерадом и продајом сепарисаног грађевинског материјала имају потребу да у сваком моменту знају колике су њихове залихе на сепарацији. За утврђивање тих количина најчешће се користе геодетске методе снимања и обрачуна запремина. На тржишту геодетске мерне опреме постоји велики избор инструмената за снимање тих депонија. У раду је дат кратак преглед најчешће коришћених геодетских мерних техника и резултати вишекритеријумског одлучивања при избору најпогодније опреме применом метода VIKOR и ELECTRE.

Кључне речи: Геодетска опрема, вишекритеријумско одлучивање, VIKOR, ELECTRE.

Abstract: Construction firms engaged in processing and selling separated building materials need to know their supplies on the separation at any moment. Geodetic methods of surveying and calculating volumes are often used to determine these quantities. On the geodetic measuring equipment market there is a large number of instruments suitable for surveying those dumps. The paper gives a brief overview of the most commonly used geodetic measurement techniques and the results of the multicriteria decision making when choosing the most suitable equipment based on the methods of VIKOR and ELECTRE.

Keywords: Geodetic equipment, multicriteria decision making, VIKOR, ELECTRE.

1. УВОД

Грађевинска предузећа која се баве прерадом, продајом и уградњом грађевинског материјала (шљунка, песка и сл.) често имају потребу да знају колике су залихе материјала, колико је испоручено, односно колико је депоновано тог материјала. Обрачун запремина се врши периодично, али се на крају календарске године, у оквиру пописа основних средстава, ради и коначан попис количина депонованог материјала. Те запремине се могу одредити на разне начине, али се најчешће примењују методе засноване на геодетским мерењима (снимању). Познато је да на тачност обрачуна запремина директно утиче тачност координата снимљених тачака, као и просторни размештај тих тачака.



Слика 1. Сепарација шљунка

У раду се под појмом депоније грађевинског материјала подразумевају гомиле материјала (разних фракција) на сепарацији шљунка (Сл. 1).

2. ГЕОДЕТСКЕ МЕРНЕ ТЕХНИКЕ

Наглим развојем дигиталне технике развила се и геодетска мерна опрема, па тако данас на тржишту постоји велика понуда разних мерних уређаја. Сваки од понуђених мерних уређаја има своју примену за одређене врсте радова. Такође, сваки од њих има своје предности и мане у односу на други уређај, у зависности за које се сврхе користи. Тако се за снимање депонија (сепарација) грађевинског материјала могу применити следећи инструменти и опрема:

- ласерска тотална станица,
- GNSS пријемник,
- аматерска дигитална камера,
- дрон са дигиталном камером и
- терестричко ласерски скенер.

Свако од понуђених решења подразумева различиту технику мерења која захтева да при њеној примени буду испуњени одређени услови, што за циљ има добијање адекватних резултата.

2.1. Начин снимања

Снимање депонија тоталном станицом и помоћу GNSS пријемника се врши избором дискретних тачака. Фотограметријском методом снимања нису унапред одређене тачке које су од интереса за обрачун запремина. На терену се депоније само фотографишу са довољним бројем снимака са преклопом од најмање 80%. Ласерским скенирањем се директно на терену добија огромна количина података (облак тачака).

2.2. Метеоролошки услови при снимању

Ласерске тоталне станице имају озбиљна ограничења у погледу њихове примене у условима измаглице и падавина, док GNSS техника нема тих ограничења.

Фотографисање депонија није могуће у лошим временским условима (киша, снег, измаглица). За дроне велики проблем представља ветар, као и то што су за снимања из ваздуха неопходна посебна одобрења, нарочито ако се ради у близини објекта од посебног значаја (аеродрома, касарни и сл.).

Ласерско скенирање је, слично као и код снимања ласерским тоталним станицама, ограничено у условима измаглице и падавина.

2.3. Природни услови рада при снимању

Што се тиче природних (физичких) услова рада, ласерске тоталне станице немају битна ограничења осим заклоњености појединих делова које треба снимити, а до којих се не може физички прићи.

GNSS техника има ограничења у погледу могућности пријема сигнала, као и приступачности тачака за снимање, јер се ровер мора поставити на сваку тачку која се жели снимити.

Фотографисање из руке је доста флексибилно јер се увек може пронаћи одговарајуће место за снимање. Применом дрона могуће је снимити и најнеприступачнија места депонија.

Терестричко ласерско скенирање је ограничено видним пољем са места скенера, јер све што се не види са места скенирања неће бити снимљено. Што се тиче природних (физичких) услова рада, ласерске тоталне станице немају битна ограничења осим заклоњености појединих делова које треба снимити, а до којих се не може физички прићи.

GNSS техника има ограничења у погледу могућности пријема сигнала, као и приступачности тачака за снимање јер се ровер мора поставити на сваку тачку која се жели снимити.

Фотографисање из руке је доста флексибилно јер се увек може пронаћи одговарајуће место за снимање. Применом дрона могуће је снимити и најнеприступачнија места депонија.

Терестричко ласерско скенирање је ограничено видним пољем са места скенера јер све што се не види са места скенирања неће бити снимљено.

2.4. Обрада података мерења (снимања)

Ако се при снимању користе тоталне станице и GNSS техника, директно се добијају координате снимљених тачака чиме је олакшана обрада података у циљу добијања запремина. Такође, уколико се примењује ласерско скенирање добијају се координате облака тачака, а након трансформације координата могуће је на једноставан начин одредити запремину.

Ако се за обрачун запремина користе фотографије, онда се мора спровести накнадна обрада података, тј. процесирање фотографија. Након тога се добија облак тачака који такође треба трансформисати у одговарајући координатни систем, а затим обрачунати запремину.

Осим наведених предности и недостатака појединих геодетских мерних техника, треба имати у виду и цену коришћене опреме, време утрошено за прикупљање и обраду података, као и положајну тачност координата снимљених тачака и аутономност у раду.

3. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ

Процес одлучивања подразумева да се, на основу унапред постављених критеријума, бира једно од више могућих алтернативних решења која треба да испуњавају постављене циљеве. Такође, неопходно је дефинисање одговарајућих тежина за сваки постављени критеријум, на основу чега ће се мерити оствареност постављених циљева [1]. Избор и дефинисање критеријума, као и одређивање адекватних тежина за сваки појединачни критеријум је најделикатнија фаза вишекритеријумског одлучивања. Због тога је неопходно да одлуке о томе доносе експерти са довољно професионалног искуства и стручног знања.

Вишекритеријумско одлучивање мора да се базира на стварним и проверљивим показатељима који ће омогућити контролу и анализу осетљивости укупног система одлучивања [3]. Пожељно је да се при избору оптималног решења примењују различити модели са циљем побољшања укупне поузданости усвојеног решења.

3.1. Резултати одлучивања по методи VIKOR

Због специфичних услова рада на терену, поставља се питање која од претходно описаних геодетских мерних техника је оптимална за снимање депонија грађевинског материјала.

Дакле, у овом примеру се могу поставити следећа алтернативна решења:

- A1 - употреба ласерске тоталне станице,
- A2 - употреба GNSS пријемника,
- A3 - употреба аматерске дигиталне камере,
- A4 - употреба дрона са дигиталном камером и
- A5 - употреба терестричког ласерског скенера,

као и шест критеријумских функција са одговарајућим тежинама:

- f_1 - применљивост у лошим временским условима са тежином $\omega_1 = 0.111$,
- f_2 - приступачност тачака при снимању са тежином $\omega_2 = 0.133$,
- f_3 - време рада на терену са тежином $\omega_3 = 0.222$,
- f_4 - време рада у бироу са тежином $\omega_4 = 0.178$,
- f_5 - положајна тачност координата тачака са тежином $\omega_5 = 0.223$ и
- f_6 - аутономност инструмента у раду са тежином $\omega_6 = 0.133$.

Вредности f_{ij} свих критеријумских функција i за сва алтернативна решења j дате су у табели 1.

Табела 1: Вредности свих критеријумских функција за сва алтернативна решења

	f_1 [0-da, 1-ne]	f_2 [0-da, 1-ne]	f_3 [h]	f_4 [h]	f_5 [cm]	f_6 [0-da, 1-ne]
A ₁	0.7	0.2	6	0.5	1	0
A ₂	0	0.5	8	0.5	2	0
A ₃	0.5	0.4	2	5	5	0.5
A ₄	0.9	0.1	1	5	5	0.6
A ₅	0.6	0.4	2	1	1	0.2

С обзиром да се цене опреме вишеструко разликују, у раду није третиран овај критеријум. При избору опреме се подразумевало да на располагању стоји сва наведена мерна опрема.

У наставку је дат излазни фајл из програмског пакета VIKOR добијен као резултат вишекритеријумског одлучивања по VIKOR моделу на основу претходно дефинисаних алтернативних решења, критеријумских

функција, њихових тежина и вредности за сва алтернативна решења.

СПИСАК АЛТЕРНАТИВА

- A 1. Ласерска тотална станица
- A 2. GNSS пријемник
- A 3. Аматерска дигитална камера
- A 4. Дрон са дигиталном камером
- A 5. Терестрички ласерски скенер

SPISAK KRITERIJUMA

- f 1. Применљивост у лошим временским условима
- f 2. Приступачност тачака при снимању
- f 3. Време рада на терену
- f 4. Време рада у бироу
- f 5. Положајна тачност координата тачака
- f 6. Аутономност инструмента у раду

ПОКАЗАТЕЉИ ЕКСТРЕМИЗАЦИЈЕ

0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---

ВРЕДНОСТИ КРИТЕРИЈУМСКИХ ФУНКЦИЈА

	0.7	0.2	6	0.5	1	0
A1	0.7	0.2	6	0.5	1	0
A2	0	0.5	8	0.5	2	0
A3	0.5	0.4	2	5	5	0.5
A4	0.9	0.1	1	5	5	0.6
A5	0.6	0.4	2	1	1	0.2

R.V.AL. / МЕСТА НА ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКИМ РАНГ-ЛИСТАМА

	4	2	4	1	1	1
A1	4	2	4	1	1	1
A2	1	5	5	2	3	2
A3	2	3	2	4	4	4
A4	5	1	1	5	5	5
A5	3	4	3	3	2	3

ВРЕДНОСТИ ТЕЖИНА КРИТЕРИЈУМА W(I)

0.111	0.133	0.222	0.178	0.223	0.133
-------	-------	-------	-------	-------	-------

РЕЗУЛТАТИ МЕТОДЕ VIKOR

РАНГ ЛИСТЕ ПРЕМА МЕРАМА QR, Q и QS

QR – МИНИМАКС СТРАТЕГИЈА

Q - КОМПРОМИСНА ЛИСТА

QS – СТРАТЕГИЈА ВЕЋИНЕ КРИТЕРИЈУМА

	R.L.QR	R.L.Q i Q(J)	R.L.QS
A 5	0.000	A 5 0.000	A 5 0.000
A 1	0.462	A 1 0.241	A 1 0.019
A 2	0.977	A 2 0.651	A 2 0.325
A 4	0.995	A 4 0.928	A 4 0.862
A 3	1.000	A 3 1.000	A 3 1.000

КОМПРОМИСНО РЕШЕЊЕ ЗА ДОНОШЕЊЕ КОНАЧНЕ ОДЛУКЕ ЈЕ :

ALTERNATIVA

A 5. Terestrički laserski skener

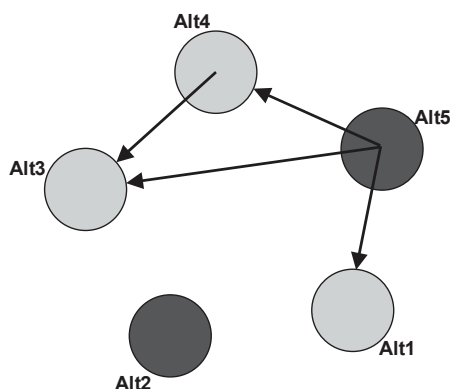
PREDNOST

24.1 %

ОВО ЈЕ РЕШЕЊЕ ЗА ДАТЕ ТЕЖИНЕ РИТЕРИЈУМА

3.2. Резултати одлучивања по методи ELECTRE

Граф релације по модификованој методи ELECTRE [2] при праговима сагласности $p = 0.6$, односно несагласности $q = 0.4$ је приказан на Сл. 2. На слици се види да се језгро састоји од две алтернативе Alt2 (GNSS пријемник) и Alt5 (Терестрички ласерски скенер).

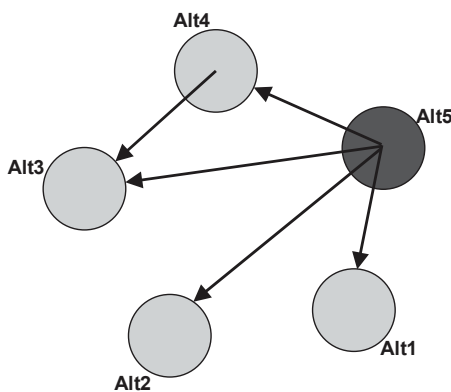


Слика 2. Граф релације за прагове сагласности и несагласности ($p = 0.6$ и $q = 0.4$)

Табела 2: Језгро релације за фиксно $q: 0.4$ и $p: 0.6$

Језгро	За фиксно $q: 0.4$	За фиксно $p: 0.6$
Alt2	Alt5 : Увек	Alt2 : $q < 0.5$
Alt5	Alt2 : $p > 0.5777777778$	Alt5 : $q < 0.5$
	Alt4 : $p > 0.6444444444$	Alt4 : $q < 0.4$
	Alt1 : $p > 0.6888888889$	Alt1 : $q < 0.2$
	Alt3 : $p > 0.8888888889$	Alt3 : $q < 0.1$

Ако се праг сагласности смањи на $p = 0.57$, при истом прагу несагласности $q = 0.4$, граф релације поприма форму као на Сл. 3. На слици се види да се језгро састоји од једне алтернативе Alt5 (Терестрички ласерски скенер).



Слика 3. Граф релације за прагове сагласности и несагласности ($p = 0.57$ и $q = 0.4$)

Табела 3: Језгро релације за фиксно $q: 0.4$ и $p: 0.57$

Језгро	За фиксно $q: 0.4$	За фиксно $p: 0.57$
Alt5	Alt5 : Увек	Alt5 : $q < 0.5$
	Alt2 : $p > 0.5777777778$	Alt4 : $q < 0.4$
	Alt4 : $p > 0.6444444444$	Alt2 : $q < 0.4$
	Alt1 : $p > 0.6888888889$	Alt1 : $q < 0.2$
	Alt3 : $p > 0.8888888889$	Alt3 : $q < 0.1$

4. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата добијених VIKOR методом, компромисна решења чине алтернативна решења A5 (употреба терестричког ласерског скенера) и A1 (употреба ласерске тоталне станице). Наиме, алтернативно решење A5 се налази на првом месту на ранг листи, али има недовољну предност над алтернативним решењем A1. Предност износи свега 24.1%, што је недовољно да би се са сигурношћу могло тврдити да је за снимање депонија боље користити терестрички ласерски скенер него ласерску тоталну станицу.

Анализом резултата методе ELECTRE може се закључити да и ова метода даје предност алтернативи A5 (употреба терестричког ласерског скенера), тако да се коначно може рећи да ова метода снимања депонија заиста има предности над осталим понуђеним методама.

Вишекритеријумско одлучивање у овом раду се односило само на избор оптималне геодетске опреме, под претпоставком да је поједнако расположива и доступна. Због тога ову анализу вишекритеријумског одлучивања треба усвојити условно јер нису узети у обзир сви критеријуми који се реално могу поставити, као што су трошкови коришћења опреме, трошкови рада на снимању и обради података, цене набавке недостајуће опреме и одговарајућих програмских пакета. Такође, није узет у обзир ни критеријум величине и разуђености депоније.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Оприцовић, С., Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству, Грађевински факултет, Београд, 1998.
 [2] Алексић, В., Анић, И., Упоредна анализа методе Vikor и Electre вишекритеријумске анализе, XXXIV Симпозијум о операционим истраживањима, 2007.
 [3] Панцић, С., Панцић, Ј., Вишекритеријумско одлучивање при избору најповољније геодетске мерне технике за снимање на површинским коповима угља, XXXIX Симпозијум о операционим истраживањима, 2012.

ГРАФОВИ И МРЕЖЕ



COMBINATORIAL FLOWS ON EDGES OF HEXAHEDRON

МОМЦИЛО БЈЕЛИЦА

Универзитет оф Нови сад, Технички факултет "Михајло Пупин", Зрењанин, бјелица@жтфзр.унс.ац.рс

Abstract: In this paper we consider distribution of an impulse which flows on edges of a hexahedron i.e. corresponding graph. The impulse divides at a vertex into two edge flows. The process continues. Distribution of excitations at the vertices is described by a vector. The recurrence relation is presented.

Keywords: Graph, impulse, flow, edge, hexahedron

1. INTRODUCTION

Лет $E_3 = \mathfrak{R}^3$ бe тхрee дименсионал Ецлидеан спале. Лет \mathbf{H} бe а хeцахeдрон њитх вертицес

$$V_1(0, 0, 0), V_2(1, 0, 0), V_3(0, 1, 0), V_4(0, 0, 1), \\ V_5(0, 1, 1), V_6(1, 0, 1), V_7(1, 1, 0), V_8(1, 1, 1).$$

Ан импулсе флоњс овер тхе едгес оф а хeцахeдрон, анд ит дивидес ат тхе вертицес инто тњо едге флоњс. Тхе дистрибутион оф ецитатионс оф вертицес континуес. Тхе хeцахeдрон кан бe консидеред ас а графх њитх еигхт вертицес анд тњелве арце.

Ин \mathbf{H} тхере њас консидеред ди стрибутион он ан тетрахeдрон ас њелл ас он $(n-1)$ -дименсионал симплец.

Ин тхис папер тхе рещуренце релатион фор вецторс пресентинг тхе нумбер оф ецитатионс ис пресентед.

2. HEXAHEDRAL FLOWS

Лет ан унит импулс I старте ат some вертец V_i ,

њхере $1 \leq i \leq 8$, оф а хeцахeдрон \mathbf{H} . Тхе импулс флоњс тоњардс а вертец V_j , њхере $j \neq i$, њитхоут ани лосс оф интенсити. Ат тхе вертец V_j , тхе импулс I дивидес инто тњо

флоњс гоинг тоњардс вертицес V_k , анд V_l , њхере

$\{i, j, k, l\} \subset \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, анд алл индигес арe

мутуалли дифферент. Тхере арe но реверсал флоњс. Ат

вертицес V_k анд V_l ње обгаин тњо импулсес оф интенсити

$I/2$. Тхе процес оф пропaгатион анд дивисион континуес. Ин тхе фуртхер ње сушпосе тхат интенсити оф тхе импулсес кан бe неглечед.

Ин тхис папер ње консидер а комбинаториал проблем оф детерминацион оф пропaгатион и.е. дистрибутион оф импулсес овер вертицес оф тхе хeцахeдрон \mathbf{H} , тхроугх тхе тиме. Оне кан консидер тхис пропaгатион ас ан еволутион

комбинаториал процес гоинг он ан графх овер еигхт вертицес анд тњелве едгес \mathbf{H} .

3. DISTRIBUTION OF FLOWS

Сушпосе тхат some импулс I аппеарс ат вертец V_1 . Ит дивидес ин тхрee флоњс тоњардс тхе вертицес V_2, V_3 , анд V_4 . Тхе фирст степ ис а трифурцатион оф тхе импулсес.

Ат тхе сецонд степ, ње хаве импулсес I ат вертицес V_2, V_3 , анд V_4 . Тхе фуртхер дистрибутион гоес аццординг то Сецтион 2, би бифурцатионс оф флоњс.

Лет $s_i^{(n)}$, њхере $1 \leq i \leq 8$, бe тхе нумбер оф сцинтилатионс и.е. аппеарансес оф тхе импулсес I ат вертец V_i , ат n -тх степ. Лет

$$S^{(n)} = (s_1^{(n)}, s_2^{(n)}, s_3^{(n)}, s_4^{(n)}, s_5^{(n)}, s_6^{(n)}, s_7^{(n)}, s_8^{(n)}),$$

бe а вецтор оф сцинтилатионс оф вертицес оф хeцахeдрон \mathbf{H} .

Дефинe

$$S^{(0)} = \left(\frac{3}{2}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \right).$$

Ит ис еаси то цалцулате тхат

$$S^{(1)} = (0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0),$$

$$S^{(2)} = (0, 0, 0, 0, 2, 2, 2, 0),$$

$$S^{(3)} = (0, 2, 2, 2, 0, 0, 0, 6),$$

$$S^{(4)} = (6, 0, 0, 0, 6, 6, 6, 0),$$

$$S^{(5)} = (0, 14, 14, 14, 0, 0, 0, 0),$$

$$S^{(6)} = (30, 0, 0, 0, 22, 22, 22, 6),$$

$$S^{(7)} = (0, 46, 46, 46, 0, 0, 0, 54),$$

$$S^{(8)} = (78, 0, 0, 0, 102, 102, 102, 0) \dots$$

Lemma. Тхе сум оф сцинтилатионс оф $S^{(n)}$ ељуалс

$$\sum_{i=1}^8 s_i^{(n)} = 3 \times 2^{n-1}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Лет

$$I = \{V_1\}, II = \{V_2, V_3, V_4\}, III = \{V_5, V_6, V_7\}, IV = \{V_8\}$$

бе фоур левелс оф вертицес. Лет тхе нумбер оф сцинтилатионс

$$s_i^{(n)} = s_i^{(n)} + s_i^{(n)}$$

бе декомпосед он $s_i^{(n)}$ тхе нумер оф сцинтилатионс

поминг фром лоуер левел, ас њелл ас

$s_i^{(n)}$ тхосе сцинтилатионс поминг фром тхе хигхер левел.

Ње хаве 8 пасес

1. Сцинтилатионс $s_1^{(n)}$ оф вертец V_1 оф левел I , али цоме фром левел II , анд флоу бацк то тхе левел II , дуплицате ас њелл ас ељуалй дистрибуте он левел II

$$s_2^{(n+1)} = s_3^{(n+1)} = s_4^{(n+1)} = \frac{2}{3} s_1^{(n)}.$$

2.&3. Сцинтилатионс $s_2^{(n)} = s_3^{(n)} = s_4^{(n)}$ оф вертицес оф левел II , њхицх цоме фром левел III , флоу то тьо левелс: (а) бацк то тхе левел III со тхат

$$s_4^{(n+1)} = s_5^{(n+1)} = s_6^{(n+1)} = s_2^{(n)},$$

(б) флоу то левел I со тхат $s_1^{(n+1)} = 3 s_2^{(n)}$.

4. Сцинтилатионс $s_2^{(n)} = s_3^{(n)} = s_4^{(n)}$ оф вертицес оф левел II , њхицх цоме фром левел I , флоу то левел III со тхат $s_5^{(n+1)} = s_6^{(n+1)} = s_7^{(n+1)} = 2 s_2^{(n)}$.

5. Сцинтилатионс $s_5^{(n)} = s_6^{(n)} = s_7^{(n)}$ оф вертицес оф левел III , њхицх цоме фром левел IV , флоу то левел II со тхат $s_2^{(n+1)} = s_3^{(n+1)} = s_4^{(n+1)} = 2 s_5^{(n)}$.

6.&7. Сцинтилатионс $s_5^{(n)} = s_6^{(n)} = s_7^{(n)}$ оф вертицес оф левел III , њхицх цоме фром левел II , флоу то тьо левелс: (ц) бацк то тхе левел II со тхат

$$s_2^{(n+1)} = s_3^{(n+1)} = s_4^{(n+1)} = s_5^{(n)},$$

(д) флоу то левел IV со тхат $s_8^{(n+1)} = 3 s_5^{(n)}$.

8. Сцинтилатионс $s_8^{(n)}$ оф вертец V_8 оф левел IV , али цоме фром левел III , анд флоу бацк то тхе левел III , дуплицате ас њелл ас ељуалй дистрибуте он левел III

4. RULES OF DISTRIBUTION

Abstraction. Фор тхе саке оф симплицитй, хере ње интродуце море абстракцион. Ње **formally triplicate**

vertices: V_1 он абстракт вертицес U_1, U_2 , анд U_3 , ас њелл ас V_8 он абстракт вертицес U_{10}, U_{11} , анд U_{12} .

Цонсељуентий, $U_i = V_{i-2}$, њхере $4 \leq i \leq 9$. Со ње хаве њећ левелс, али оф тхем њитх тхрес вертицес

$$I = \{U_1, U_2, U_3\}, \quad II = \{U_4, U_5, U_6\},$$

$$III = \{U_7, U_8, U_9\}, \quad IV = \{U_{10}, U_{11}, U_{12}\}.$$

Тхерефоре ње обатин а њећ вектор оф сцинтилатионс

$$T^{(n)} = \begin{pmatrix} t_1^{(n)}, t_2^{(n)}, t_3^{(n)}, t_4^{(n)}, t_5^{(n)}, t_6^{(n)}, t_7^{(n)}, t_8^{(n)}, t_9^{(n)} \\ t_{10}^{(n)}, t_{11}^{(n)}, t_{12}^{(n)} \end{pmatrix}.$$

Њхере

$$t_1^{(n)} = t_2^{(n)} = t_3^{(n)} = \frac{s_1^{(n)}}{3}, \quad t_{10}^{(n)} = t_{11}^{(n)} = t_{12}^{(n)} = \frac{s_8^{(n)}}{3},$$

анд $t_i = s_{i-2}$, њхере $4 \leq i \leq 9$.

Хере ње хаве алсо декомпоситионс

$$t_i^{(n)} = t_i^{(n)} + t_i^{(n)}, \quad \forall i \leq 9$$

Иф ње цонсидер тхе дистрибутион инициатед бй оне сингле импулс I , тхен

$$t_1^{(n)} = t_1^{(n)} = t_2^{(n)} = t_3^{(n)},$$

$$t_4^{(n)} = t_4^{(n)} + t_4^{(n)} = t_5^{(n)} = t_6^{(n)},$$

$$t_7^{(n)} = t_7^{(n)} + t_7^{(n)} = t_8^{(n)} = t_9^{(n)},$$

$$t_{10}^{(n)} = t_{10}^{(n)} = t_{11}^{(n)} = t_{12}^{(n)}.$$

Ноћ ње хаве **8 rules for distribution of flows**

1. Сцинтилатионс $t_1^{(n)}$ оф вертец U_1 оф левел I , али цоме фром левел II , анд флоу бацк то тхе левел II , анд дуплицате

$$t_4^{(n+1)} = 2 t_1^{(n)}.$$

2.&3. Сцинтилатионс $t_4^{(n)}$ оф вертицес оф левел II , њхицх цоме фром левел III , флоу то тьо левелс: (а) бацк то тхе левел III со тхат

$$t_7^{(n+1)} = t_4^{(n)},$$

(б) флoњ то левел I со тхат $t_1^{(n+1)} = t_4^{(n)}$.

4. Сцинтилатионс $t_4^{(n)}$ оф вертицес оф левел II , њхиц цоме фром левел I , флoњ то левел III анд дуплицате

$$t_7^{(n+1)} = 2 t_4^{(n)}.$$

5. Сцинтилатионс $t_7^{(n)}$ оф вертицес оф левел III , њхиц цоме фром левел IV , флoњ то левел II анд дуплицате

$$t_4^{(n+1)} = 2 t_7^{(n)}.$$

6.&7. Сцинтилатионс $t_7^{(n)}$ оф вертицес оф левел III , њх ицх цоме фром левел II , флoњ то тњо левелс: (ц) бацк то тхе левел II со тхат

$$t_4^{(n+1)} = t_7^{(n)},$$

(д) флoњ то левел IV со тхат $t_{10}^{(n+1)} = t_7^{(n)}$.

8. Сцинтилатионс $t_{10}^{(n)}$ оф вертец U_{10} оф левел IV , алл цоме фром левел III , анд флoњ бацк то тхе левел III , анд дуплицате

$$t_7^{(n+1)} = 2 t_{10}^{(n)}.$$

5. CONCLUSION

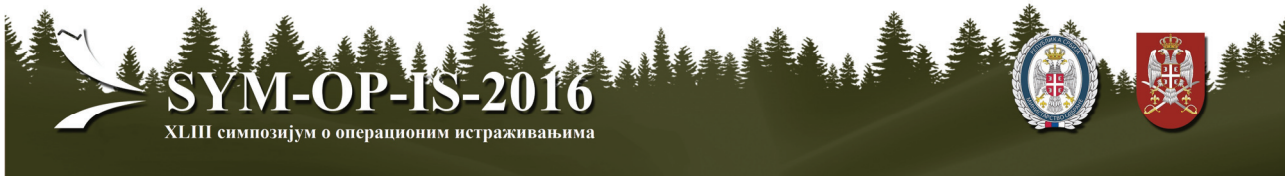
Ин тхис папер ис презентед а цхарактеризатион оф процесс оф спрединг оф импулсес овер тхе едгес оф хецахедрон. Тхе патхс аре цодес оф а специфич генетиц еволутион. Ње обтаинед ан цонцептион бетњесен а графх генератератед бй тхе хецахедрон, анд бинарй тресс њхицх аре енвелопед овер тхе графх.

REFERENCES

Ш1ЉБјелица, М., “Матриц репрезентатион оф тетрахедрал едге флoњс”, Матхематичал анд Информатионал Тецхнологиес, МИТ 2011, Врнјацка Бања, Будва 2011, 40-43.

Ш2ЉМоон, Ј.Њ., *Topics on tournaments*, Холт, Реинхарт анд Њинстон, Њењ Їорк, 1976.

ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ



SOME CONSIDERATIONS ON THE IMPLEMENTATION OF TECHNIQUES FOR DATA ANALYSIS IN BUSINESS SYSTEMS

ZORAN NEŠIĆ

University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, zoran.nesic@ftn.kg.ac.rs

MIROSLAV RADOJIČIĆ

University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, miroslav.radojicic@ftn.kg.ac.rs

JASMINA VESIĆ VASOVIĆ

University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, jasminda.vesic@ftn.kg.ac.rs

Abstract: *This paper presents some considerations about theoretical and practical elements of the application of techniques for data analysis in business systems. The emphasis of the paper is reviewing of techniques for extracting and analyzing large amounts of data. This paper presents a concrete example of the application of this methodology, which are illustrated by practical application and possibilities of discussed technology.*

Keywords: *Information system, data analysis, database*

1. INTRODUCTION

Database is one of the basic and inevitable elements on which it based business management system. Proper database design involves defining all necessary entities and their relational connections in order to obtain the data model that can fully meet the needs of modern business systems in order to protect data and obtaining the necessary information on them. However, in addition to the database itself is of great importance, and the ability to analyze information from them. Modern software systems now receive exceptional expansion in the direction of access to databases, analyze of information and their presentation.

The importance of this issue highlight many authors. Teorey et al. 2011 [1] as the most important element in the design of the databases state creating its logical design as the basis for the present, their further use, analysis and optimization.

Theoretical basics of database design methodologies represent analysis of the impact on the performance and maintenance [2], the development of modern principles and methodologies in order to design a data warehouse [3], [4], as well as the system for their analytical processing [5].

Contemporary authors recognize the enormous importance of administration in adequate data analysis and improvement of methodology that will improve this process. This enables support for a wide range of users in order to use and improve the system for support business systems analysis [6], [7], data modeling [8] and the business process [9], [10].

Current research of development and application databases are moving in a large range of different directions:

- developing of query (Query) language [11]
- application of databases in management information systems [12]
- data protection [13]
- development web queries [14]
- improvement of the user interface for their use [15]
- the use of temporary database and Data Mining System [16]

2. SOME CONSIDERATIONS ON DATA ANALYSIS

This paper presents some possibilities for the development of the relational database model and analysis that can be universally applied in the production of components for small and medium enterprises. Database (Figure 1) has a structure that allows you to track the most important business processes in production.

The central database entity represents a table for production planning (Production Plan), which is the first level of relational connection associated with the entities for monitoring parts for installation (Positions) and table of work orders (Work Orders). This enables to directly obtain information on the required of position for installation on the basis of production plans. The most important data of the table represent identification of the production plan of the plan and the date of adoption, the coefficient of installation that indicates the number of required components, plan for spare parts, production sector and the like.

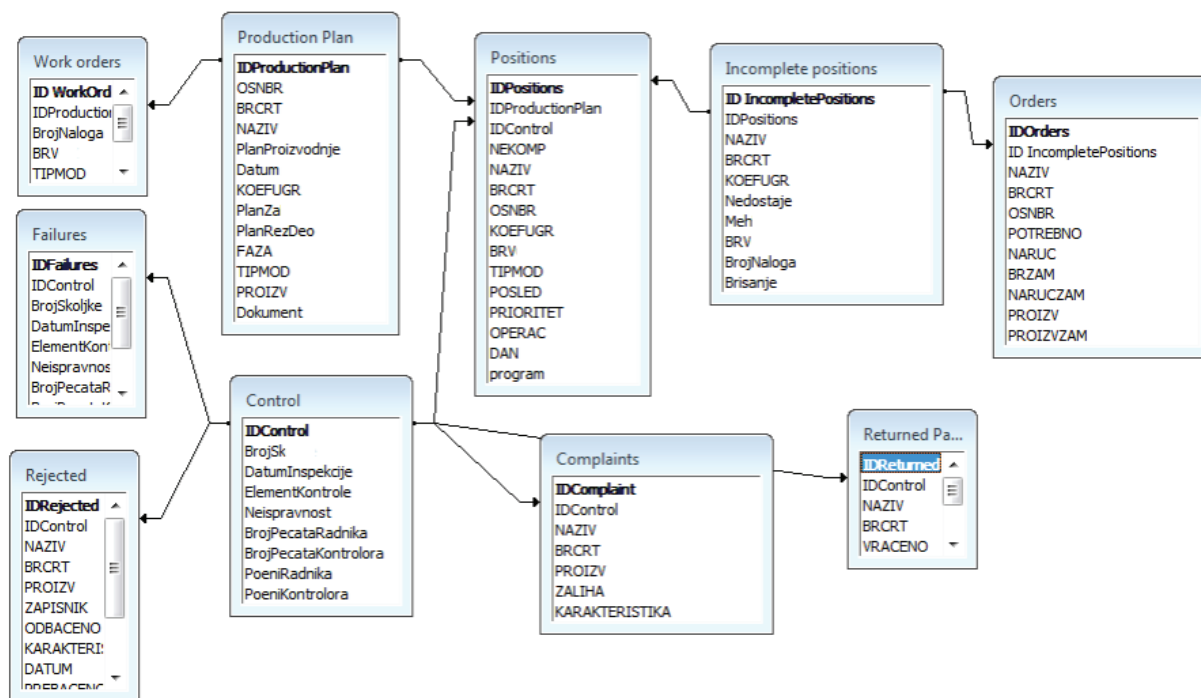


Figure 1: The relational database model

The table of position refers to the components necessary for installation and information about them, such as primary key, or component identification number, name, number of drawings, basic number, the priority of installation, the number of operations and more. The table of incomplete positions (Incomplete positions) is in direct relational connection with it and indicates the positions that could not be incorporated. In the case of data entry in real-time production, positions that can indicate up to this point are not still installed in the order of operations. With this table is linked to the table of orders from suppliers of components (Orders) with information on the required quantity of individual components from suppliers, the name of the supplier, at the same time a component that can be replaced in case of failure of supply, as well as with spare supplier.

The table Control refers to the monitoring and analysis of production quality. In addition to the primary key, which means the identification number of the control, contains an identification number, date of inspection, control element, the perceived malfunction type, number and the seal of the workers, as well as with supervisors. In addition, this table contains data on the number of workers points and controllers in a single inspection, in order to be registered actual quality of their work and the importance of the individual identified faults.

In the direct connection with relational table of the control is located codebook (Failures) with predefined names of errors or faults and other data about them. Also, it is necessary to mention the table with the rejected components that is important to keep separate records. The table of returned parts (Parts Returned) means a table with components that were returned to production.

In addition to these tables, the database also includes a table (Complaints) which records data on opinions, suggestions regarding the identified faults.

In addition to a database that is the basis for the development of an information system, it is necessary to point out another element that refers to the same tools for data analysis. Specifics of the management business and the need for frequent creation of Ad Hoc queries, imposes the development of tools that will enable the creation of complex queries against databases and interactive at the same time largely reduce the time of their creation and the need for programming. In this sense, the significance of integrated tools of business and individual components implemented in them, for a unified way to query. Figure 2 shows Microsoft's tool for connecting to external databases of different formats, implemented in MS Excel or in other products thereof.

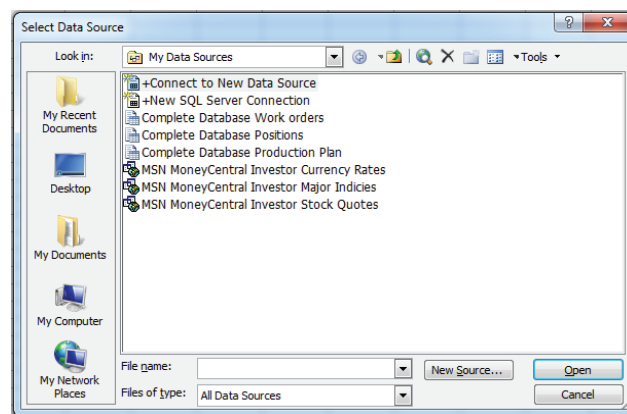


Figure 2: Tool for connection with various external databases

Figure 3 shows the use of one of the free tools for creating OLAP cubes over previously considered relational database. The tool provides access to database formats of Microsoft Access, SQL Server, Oracle, and ODBC components for universal access to external data.

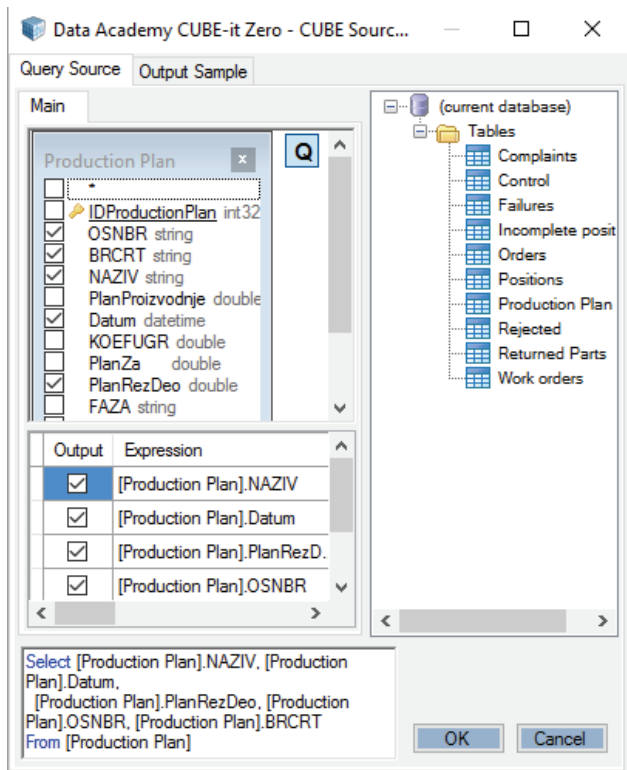


Figure 3: Component for creation of queries, against relational database - a tool CUBE-it Zero

Figure 4 shows the component of tool CUBE-it Zero for the creation of OLAP cube dimensions for later use in MS Excel.

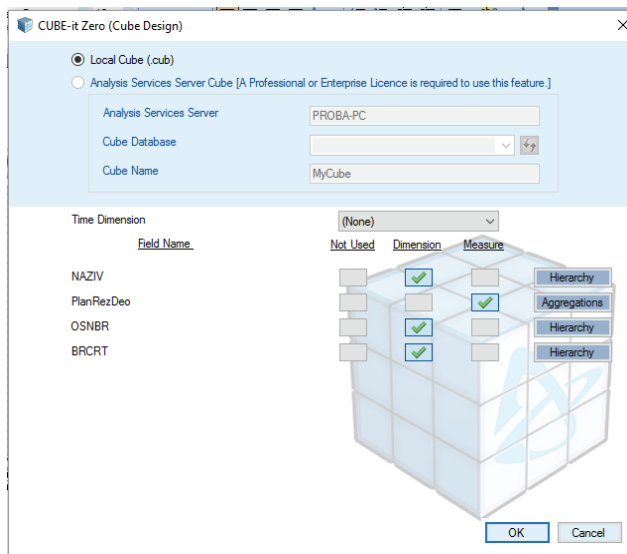


Figure 4: Creation of an OLAP cube dimensions for later use

Using pre-defined OLAP cubes is done automatically by integrating with the tool MS Excel. Also, it is possible and subsequent implementation of recorded and pre-

defined OLAP cubes. Figure 5 shows the use of these data using the Pivot Table and their analysis in three dimensions. OLAP cube dimensions, in the studied case, are considered by using relational databases are TITLE, OSNBR and BRCRT of the table Production plan, while the measure takes numeric data PlanRezDeo.

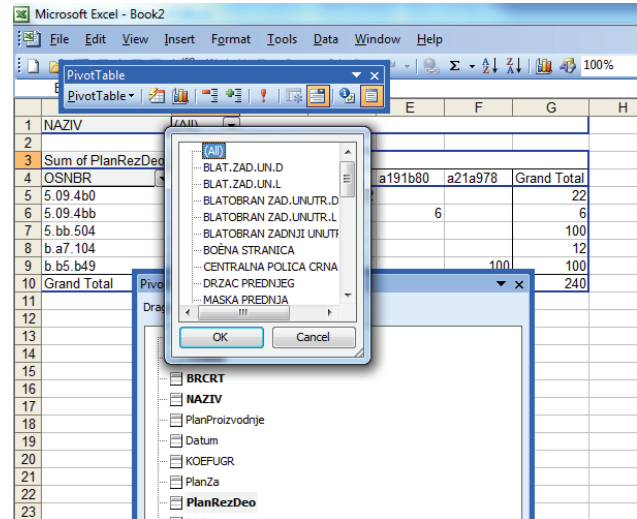


Figure 5: Analysis of data in three dimensions

Is important to emphasize the simple possibility of changing position of the new dimensions in the Pivot Table and view on the results from a different angle, rotation of OLAP cubes, Figure 6.

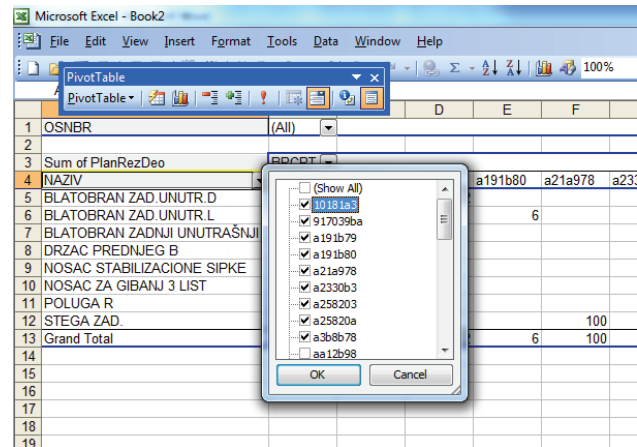


Figure 6: Rotation of the OLAP cube

Figure 7 shows the possibilities of sophisticated tool MS Access for purposes of analyzing the information starting from general data and then going into more detailed in depth, to the required levels - Drill Down. Specifics of management business largely impose the need for such an analysis of the data. Unstructured nature of the problem of management operations often imposes the need for search for information. As a result, the very nature of information is often not known in advance. General information and indicators suggest a more detailed search, which the shown the methodology can easily accomplish. Previous discussions have illustrated just some of the techniques for analyzing data in business systems which indicate the growing importance of data analysis by the

users themselves without any pre-defined queries, and reports.

kload Benchmark and its Application, Springer Science & Business Media, Berlin, New York, 2013.

The screenshot shows a Microsoft Access window with a table named 'Production Plan'. The table has columns for ID, various codes (OSNBR, BRCRT, NEKOMF, etc.), dates, and numerical values. The data is organized into several sections, some of which are expanded to show sub-tables like 'IDOrders' and 'IDPositions'.

Figure 7: Analysis of information starting from general data

5. CONCLUSION

This paper points out the importance of relational databases and modern tools for interactive data analysis in the analysis of business systems. Modern concepts of operations are imposing use of a large number of data, creating of queries that were not previously defined, which must be implemented as soon as possible and not previously defined. The paper illustrated the practical possibilities of application of considered technology in a concrete example that can be universally applied in the business of small and medium-sized enterprises.

Acknowledgment: Research presented in this paper was supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia, Grant III-44010.

REFERENCES

- [1] Teorey, T.J., Lightstone, S., Nadeau, T. Jagadish, H.V., *Database Modeling and Design: Logical Design*, Elsevier, Amsterdam, 2011.
- [2] Lightstone, S.S., Teorey, T.J. Nadeau, T., *Physical Database Design: The Database Professional's Guide to Exploiting Indexes, Views, Storage, and More*, Morgan Kaufmann, Amsterdam, 2010.
- [3] Golfarelli, M., Rizzi, S., *Data Warehouse Design: Modern Principles and Methodologies*, McGraw Hill Professional, 2009.
- [4] Malinowski, E., Zimányi, E., *Advanced Data Warehouse Design: From Conventional to Spatial and Temporal Applications*, Springer Science & Business Media, Berlin, 2008.
- [5] Bog, A., *Benchmarking Transaction and Analytical Processing Systems: The Creation of a Mixed Wor-*

- [6] Howe, D.R. *Data Analysis for Database Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- [7] Lejk, M. Deeks, D., *An Introduction to Systems Analysis Techniques*, Addison-Wesley, Harlow, 2002
- [8] Simson, G., Witt, G., *Data Modeling Essentials*, Morgan Kaufmann, Burlingto, 2004.
- [9] Havey, M., *Essential Business Process Modeling*, O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, 2005.
- [10] Cardoso J., *Handbook of Research on Business Process Modeling*, IGI Global, Hershey, PA, 2009.
- [11] Armbrust M. et al., "PIQL: a performance insightful query language", SIGMOD '10 Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of data, Indianapolis, Indiana, USA, June 6-11, 2010., pp. 1207-1210.
- [12] Lai, V.S., An assessment of database research interest in MIS, *ACM SIGMIS Database*, 27(2) (1996) 37-43
- [13] Castano, S., Fugini, M.G., Martella, G., Samarati, P., *Database security*, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. New York, NY, USA 1994.
- [14] Pappazios, S., Ntoulas, A., Shafer, J., "Rakesh Agrawal, Answering web queries using structured data sources", SIGMOD '09 Proceedings of the 2009 ACM SIGMOD International Conference on Management of data, Providence, from June 29th to July 2, 2009. pp. 1127-1130.
- [15] Mantei, M.M., Cattell, R.G.G., A study of an entity-based database user interface, *ACM SIGCHI Bulletin*, 14 (1982) 5 - 16.
- [16] Radhakrishna, V., Kumar, P.V., Janaki, V., "A Survey on Temporal Databases and Data mining", ICE-MIS '15 Proceedings of the The International Conference on Engineering & MIS 2015 , Istanbul, Turkey, April 21 - 22, 2015, Article No. 52.



САВРЕМЕНИ АСПЕКТИ ДИГИТАЛНЕ ЕКОНОМИЈЕ: УТИЦАЈ ФЕНОМЕНА BIG DATA

CONTEMPORARY ASPECTS OF DIGITAL ECONOMY: THE INFLUENCE OF THE BIG DATA PHENOMENON

ЈАСНА СОЛДИЋ-АЛЕКСИЋ

Економски факултет, Београд, e-mail: jasnasol@ekof.bg.ac.rs

БИЉАНА CHRONEOS КРАСАВАЦ

Економски факултет, Београд, e-mail: biljacronkra@me.com

Резиме: Циљ овог рада је да укаже на значај феномена велике количине података - big data и његов утицај на савремене токове у функционисању дигиталне економије. У раду су најпре дате битне одреднице појма big data, које су релевантне у данашњој литератури. Затим су дискутовани различити аспекти пословне примене велике количине података. Указано је на битне пословне предности које доноси употреба велике количине података, као што су већа транспарентност, побољшање перформанси пословних система, нови пословни модели, производи и услуге, оптимизација пословних процеса и ланца снабдевања, могућност детаљнијих сегментација база података о клијентима, подршка процесу пословног одлучивања, унапређење организационог менаџмента, као и унапређење истраживања и развоја. Такође, наведене су и основне препреке за ширу примену концепта и технологије big data, а то су: недостатак добро обучених и квалификованих кадрова, проблеми са фрагментираним подацима, као и квалитетом података, неадекватна организациона култура, посебно култура у области пословног одлучивања, где се у многим случајевима остаје на коришћењу интуиције у доношењу пословних одлука. Поред ових интерних препрека, главни екстерни фактори који делују као ограничавајући фактори у примени велике количине података су: недовољно развијена правна регулатива, питања приватности и сигурности података.

Кључне речи: big data, дигитална економија, структурирани подаци, неструктурирани подаци, пословна вредност

Abstract: The main aim of this paper is to present the phenomenon big data and its influence on the functioning of digital economy. Firstly, the paper explains the main characteristics of big data that are relevant in the contemporary literature. Then different aspects of the big data business usage are discussed and main benefits of the big data usage are pointed out: transparency, improved business performances, new business models, products and services, optimization of business processes and chain management, customer segmentation, decision making support, improved operation management and research and development. Also, the most prominent obstacles of big data usage are presented. They are: the shortage of talents specializing in data analytics - data scientists, fragmented data and poor data quality and the culture of intuitive decision making. Apart from these internal limitations, main external limiting factors are concerning to the issues of legal framework, data privacy and security.

Keywords: big data, digital economy, structured data, unstructured data, business value

1. УВОД

Дигитална економија има историју дуго скоро две деценије. Први опис дигиталне економије може се наћи у делу D.Tapscott -а, *The Digital Economy: Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence* (1997). Поред израза дигитална економија користе се

и изрази интернет економија, веб економија и нова економија. Права експлозија у развоју дигиталне економије бележи се почетком 2000-тих година са све широм применом интернета и његовим укључењем у пословне процесе. Те године карактерише и оснивање великог броја компанија које свој пословни модел везују за функционисање интернета - dot.com

компаније. Али, релативно мали број ових компанија је остварио пословни успех, највећим делом због одсуства добро осмишљених пословних модела. Следећи период је донео побољшања у смислу унапређења постојећих и креирања нових пословних модела, тако да је развој дигиталне економије ушао у стабилне токове. Данас, можемо рећи да се налазимо у ери зреле дигиталне економије, коју карактерише значајно учешће података у вођењу пословних процеса, као и у процесу пословног одлучивања. Захваљујући томе, нова економија се често у литератури описује и као економија заснована на подацима (*data-driven economy*).

Динамичан и буран развој дигиталне економије био је подстицан, а у многим случајевима и вођен технолошким иновацијама. Која новина је данас доминантна? Највећа новина односи се на могућности широке примене огромне количине података (структурираних, полу-структурираних и неструктурираних података) у јавном и приватном сектору. Стога се сматра да се дигитална економија налази на прагу нове фазе развоја: фазе означене феноменом *big data*. Наиме, дигитализација сама по себи не представља посебну новину, као и свакодневна употреба интернета и мобилних технологија, већ употреба многобројних сензора, уграђених у разноврсне уређаје, RFID технологија, као и развој концепта *Internet of Things* (IoT), односно *Internet of Everything* (IoE). Све то је допринело генерисању огромне количине података, те се говори о правој „револуција података“ или „ери *Big data*“. У литератури се може наћи низ примера и статистичких података, који указују на присутност феномена *big data*. Овде ћемо навести неколико таквих примера. Према извештајима IBM посвећеним феномену *big data* [4] сваки дан се креира exabytes (10^{18}) нових података, при чему се највећи део ових података преноси кроз IP мреже. 90 процената свих података прикупљених током читаве историје човечанства, креирано је у последње две године, а стопа раста количине података из године у годину износи 40%. Илустративан је пример који говори о томе да сви подаци о купцима који се добију за један сат из трансакционе базе података у *Wal-Mart*-у – око 1 милион трансакција (2,5 petabytes), по обиму су 167 пута већи од укупне количине података потхрањене у књигама библиотеке Конгреса у САД. Такође, процене су да укупна количина дигиталног универзума расте по стопи од 30% у периоду 2000-2020. година. Посебно су импресивне стопе раста података у мобилном саобраћају (*compound annual growth rate* – *CAGR* од 66%) [10]. Наведени трендови убрзаног генерисања и протока података, имају изузетан значај за све пословне области. Предвиђа се да ће се до 2020 године просечни пословни системи суочити са 50 пута више информација него што је то данас, док ће просечан број ИТ особља порастати само 1,5 пута [1].

2. О ФЕНОМЕНУ *BIG DATA*

Данас не постоји јединствена дефиниција феномена *big data*. Према дефиницији Европске комисије *big data* представља велику количину података која се

брзо генерише из много различитих извора. У академској литератури преовлађује објашњење које је дао *Доуг Ланеу* почетком 2000-тих година, а које подразумева да се ради о „3V“ (*Volume, Velocity, Variety* – Количина, Брзина, Разноврсност). Већ смо видели да је количина података једноставно експлодирала у последњих 15 година. 2000 године у свету се чувало 800 000 petabytes (PB - 10^{15}), а према проценама IBM очекује се да ће 2020 године бити 35 zetabytes (ZB- 10^{21}) података. Посебно је интересантно да се све већа количина података преноси преко ИП мрежа. У том смислу треба истаћи да су главни покретачи раста количине података који се преносе преко ИП мрежа следећи [10]:

- Интернет протокол (IP) постаје заједнички језик за већину система комуникације;
- многе ствари, људи, процеси и места, који раније нису били повезани, по први пут се повезују (милиони људи и ствари ће бити повезани у наредним годинама), што постаје стожер концепта *Internet of Things* – *IoT*;
- Највећи део података који се чувао у аналогном формату, преводи се у дигитални облик. Процене су да је у току прошле декаде удео дигиталног садржаја у укупном садржају порастао са 25% на 98%;
- Интернет протокол верзија 6 IPv6, омогућава повезивање на Интернет 10^{38} уређаја.

Јасно је да се пословни системи суочавају са све већом количином података. Али, насупрот овом растућем тренду количине података, присутан је опадајући тренд у обиму података који пословни системи заиста користе. Према проценама *Svetskog ekonomskog foruma* данас се користи свега 0,5% свих расположивих података [10].

Поред велике количине података, феномен *big data* подразумева и константан ток и прилив података од различитих уређаја (RFID читаћи, сензори) у реалном времену, а за чију операционализацију се не могу користити традиционални системи складиштења и обраде података. Може се запазити да се значајан део података прикупља аутоматски – пасивно (*machine to machine transactions*), у које корисник углавном није активно укључен. Уобичајено је да се у литератури о феномену *big data* говори о подацима који су статични (*data-at-rest*) и подацима у кретању (*data-in-motion, streaming data*). Израз *Velocity* односи се преваходно на динамику података, тј. брзину прилива података, као што је ток података који долази од сензора, RFID читача, или web log историја посета различитих веб страна. Сви ови подаци морају бити сачувани и анализирани. У вези брзине прилива података, поставља се важно питање конзистентности и комплетности ових података. Друго важно питање односи се на употребну вредност података, тј. колико дуго ће подаци имати вредност. Трећа димензија брзине, као карактеристике феномена *big data*, односи се на аналитику *big data* у реалном времену (*Real Time Big Data Analytics* – *RTBDA*), што је данас једно од главних ограничења примене и развоја концепта *big data*. Том питању је посвећен значајан део развоја технологија *big data*.

Такође, феномен *big data* подразумева да подаци потичу из различитих извора и имају различите формате: од структурираних података (нумерички подаци приказани у табеларној форми, у програмима за обраду табела, у датотекама података многих софтвера за статистичку анализу података, у традиционалним базама података) до полуструктурираних података (log datoteke, e-poruke, XML i HTML документа) до неструктурираних података, као што су видео-слике, мапе, дијаграми, звучни записи, машински генерисани подаци од различитих сензора са активних или пасивних система, GPS signali sa mobilnih uređaja, itd. Posebno je važno istaći da je rast nestruktuiranih podataka mnogo brži u odnosu na rast struktuiranih podataka. Prema izveštajima konsultantske kompanije Gartner, količina nestruktuiranih podataka utrostručuje se svaka tri meseca, odnosno svakog dana generiše se novih sedam miliona web strana [2].

Поред наведене три димензије (3V), у литератури се могу наћи још неке одреднице феномена *big data*: варијабилитет (*Variability*), истинитост, односно прецизност (*Veracity*) и комплексност (*Complexity*) података. Под варијабилитетом се подразумева чињеница да трансфер података може бити веома неуједначен у временским интервалима: на пример, појава сезонских, или дневних варијација у обиму података на друштвеним мрежама. Такође, у оквиру варијабилитета података проверава се постојање екстремних вредности или „outlier“-а у статистичком смислу. Најзад, имајући у виду чињеницу да данас подаци потичу из различитих извора, постоји проблем да се ти подаци повежу, упаре, трансформишу, што ствара комплексност у управљању подацима и системима у којима се они чувају.

За пословне системе је од изузетног значаја да се оспособе да користе расположиве податке у процесу издвајања знања, као и у процесу пословног одлучивања. У том смислу важно је познавање технологије неопходне за оперативно коришћење велике количине података. Наиме, *big data* чине велике количине података које се не могу обрадити класичним системима за обраду структурираних података, као што су релационе базе података и складишта података. У ту сврху користе се посебне технологије које се заснивају на умреженим рачунарима и паралелном процесирању, као што су Hadoop за структуриране и полуструктуриране податке или NoSQL, NewSQL, MongoDB, TerraStore софтвер за чување велике количине неструктурираних података. Нове технологије захтевају и нове поступке анализе података, чиме се отвара простор за развој постојећих, као и креирање нових техника пословне аналитике. Посебно велика количина података доприноси даљем развоју области предиктивне аналитике, где се користе технологије пословне интелигенције (*Business Intelligence technology*). Технике предиктивне аналитике могу да допринесу значајним компетитивним предностима организација и постају важно средство за постизање стратешких циљева пословних система. Процењује се да се ова

област, такође убрзано развија, по стопи од 8% до 10% годишње [9].

3. ПОСЛОВНА ПРИМЕНА ВЕЛИКЕ КОЛИЧИНЕ ПОДАТАКА

Није претерано рећи да данас скоро нема области у којој се не запажа значајно повећање количине података, који се складиште и обрађују. Као што смо у уводном делу нагласили предвиђа се да ће се до 2020. године просечни пословни системи суочити са 50 пута више информација него што је то данас, док ће просечан број ИТ особља порастати само 1,5 пута [10]. Сама ова чињеница довољно говори о значају *big data* технологија и аналитике. За компаније је кључно питање да ли ће ова велика количина података бити њихова слаба тачка или ће бити компаративна предност. Задржимо се на следећем питању: које су то главне предности за пословне системе које потичу од *big data*? Мануика, et al. [6] издвајају пет главних предности:

- транспарентност,
- побољшање перформанси система,
- могућности детаљнијих сегментација база података о клијентима,
- подршка процесу пословног одлучивања и
- нови пословни модели, производи и услуге.

Транспарентност података је изузетно важна, јер се супроставља устаљеној пракси изолованих података по пословним функцијама (*data silos*). Такође, потенцијална побољшања односе се на: генерисање нових производа и услуга, оптимизацију пословних процеса и ланца снабдевања, циљани маркетинг, унапређење организационог менаџмента, као и на унапређење истраживања и развоја [8].

Data-driven економија заснована на коришћењу велике количине података може да генерише значајну економску вредност. Према проценама исказаним у извештају фондације привредне коморе САД боље коришћење велике количине података може да увећа укупни светски доходак за 3 билиона долара сваке године и то посматрано само у седам индустријских области: транспорт, малопродаја, електрика, индустрија нафте и гаса, здравство, образовање и финансије. Једна половина од ове вредности представља добит за потрошаче, у виду уштеда у саобраћају, трговини и образовању, а друга половина односи се на побољшања у функционисању компанија, превасходно на повећање њихове компетитивне моћи. Данас компаније које користе велику количину података у свом пословању остварују ове предности. На пример, Wal-mart је унапредио свој ланац снабдевања користећи велику количину података, и по том основу у последње четири године увећао добит за 16% [5].

И поред уоченог тренда рапидног раста количине података, који добија епитет „револуције података“, постоје аргументи, који долазе из области информатичке подршке процесу пословног одлучивања, да се фено-

мен *big data* посматра пре у еволуционом, него у смислу револуције. Наиме, и пре појављивања овог феномена, бележи се дуготрајна пракса коришћења података и различитих информационах технологија, као и све сложенијих аналитичких техника, у процесу пословног одлучивања. Можемо слободно рећи да ова пракса - еволуција датира од 60-тих и 70-тих година, када се појављују први аналитички поступци за подршку одлучивању на основу расположивих података, као што су примена различитих статистичких техника, техника науке о управљању, техника операционих истраживања и др. Такође, од информационах технологија коришћени су различити генератори извештаја из база података, затим технологије и системи за подршку одлучивању, експертни системи и други интелигентни системи за подршку одлучивању, напредне технике претраживања података (*data mining*), па технологије пословне интелигенције (*Business intelligence*). Све наведене технологије заснивале су се на идеји прикупљања, складиштења и анализе података за потребе пословног одлучивања [10].

Када је реч о утицају *big data* на пословне перформансе, McAfee и Erik Brynjolfsson, у свом раду "*Big Data: The Management Revolution*" [7] наводе да се на основу истраживања које су спровели у САД, може закључити да постоји тесна веза између пословног коришћења велике количине података и перформанси предузећа. Њихов закључак је следећи: "уколико компаније више себе виде као компаније чије пословање почива на коришћењу велике количине података, утолико постижу боље перформансе - финансијске и оперативне." Према овој студији компаније које се налазе у врху у својој индустрији, а интензивно користе податке у процесу пословног одлучивања, у просеку су 5%- 6% профитабилније у односу на конкуренте.

Несумњиво постоје значајне предности које може да пружи коришћење велике количине података. Али, такође, постоји јаз између количине података и вредности података. Подсетимо се процене да се данас користи свега 0,5% свих расположивих података [10]. Наиме, подаци сами по себи нису интересантни. Такође, подаци имају опадајућу вредност током времена. Позната је крива вредности информација кроз време (*Value-time curve*) [3], која у доба велике количине података постаје све стрмија у смислу опадања вредности, јер количина, брзина и разноврсност података утичу да организације морају да се боре са више изазова у све комплекснијем окружењу. Такође, постоји тврђење да велика количина података има релативно ниску „густину вредности“ (*value density*), која управо произилази из основних карактеристика феномена *big data*. Стога је и кључно питање како извући знање и пословну вредност из ове велике и комплексне количине података. У том смислу важно је сагледати могуће процесе трансформације података у оквиру хијерархије знања [10].

Навели смо основне карактеристике феномена *big data*, као и потенцијалне предности које овај феномен носи са собом. Али, постоје значајне препреке у при-

мени велике количине података. Основне препреке за ширу примену концепта и технологије *big data* су: недостатак добро обучених и квалификованих стручњака; проблеми са фрагментиранима подацима, као и са квалитетом података; неадекватна организациона култура, посебно култура у области пословног одлучивања, где се у многим случајевима остаје на коришћењу интуиције у доношењу пословних одлука. Поред ових интерних препрека, главни екстерни фактори који делују као ограничавајући фактори су: јавна регулатива, питања приватности и сигурности података.

4. ЗАКЉУЧАК

Феномен *big data* представља значајну новину у функционисању и развоју дигиталне економије. Мада постоје различите дефиниције овог феномена, већина аутора се слаже да се ради о феномену који изражава потребу за новим начином употребе и управљања великом количином података у пословним системима и у јавном сектору. Велика количина података отвара нове могућности, али и изазове за пословне системе и владине организације. Поред структурираних података, ради се о огромној количини полу-структурираних и неструктурираних података. За њихово чување и процесирање користе се нове технологије, које су познате као *big data* технологије и пословне аналитике.

Велика количина података пружа потенцијал за значајне промене у пословању, како у смислу начина функционисања пословних процеса и модела, тако и у генерисању нових производа и услуга, у могућности за већом транспарентношћу, у унапређењу маркетиншких активности, унапређењу процеса пословног одлучивања кроз нову аналитику, тако и у унапређењу функционисања институција јавног сектора. Најважније интерне препреке за успешну примену концепта *big data*, јесу организациона култура, недостатак кадрова, квалитет података, а од екстерних питања доминатно је питање сигурности и заштите података, као и постојање одговарајућег легалног оквира.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EMC2, 2013. "Digital Universe." Available at: <http://www.emc.com/leadership/programs/digital-universe.htm>.
- [2] Gartner Inc., Data and Analytics: Big data, <http://www.gartner.com/technology/topics/data-analytics.jsp>
- [3] Hackathorne, R. 2004. "The BI Watch: Real-Time to Real-Value." *DM Review*, January (2004), Available at <http://www.bolder.com/pubs/DMR200401-Real-Time%20to%20Real-Value.pdf>
- [4] IBM, "Big Data", 2013, <http://www.ibm.com/bigdata/us/en/>
- [5] Kennedy, J. 2014, Data-driven economy, U.S. Chamber of Commerce Foundation, <https://www.uschamberfoundation.org/data-driven-economy>
- [6] Manyika, J., Chui, M., Groves, P., Farrell, D., Van Kuiken, S., Almasi Doshi, E. (2013), „Open Data: Unlocking Innovation and Performance with

Liquid Information, *McKinsey & Company, McKinsey Global Institute*, Oct. 2013.

- [7] McAfee, A. and E. Brynjolfsson. 2012. "Big Data: The Management Revolution." *Harvard Business Review*, October. Available at: <http://hbr.org/2012/10/big-data-the-management-revolution>.
- [8] Organization for Economic Cooperation and Development, "Exploring Data-Driven Innovation as a Source of Growth," *OECD Digital Economy Papers*, No. 222, June 2013.
- [9] Siegel, E. (2015), Seven Reasons You Need Predictive Analytics Today, Prediction Impact, Inc. Predictive Analytics for Business and Marketing,
- [10] World Economic Forum and INSEAD (2014). The Global Information Technology Report 2014, Rewards and Risks of Big Data, Geneva.



КОРИШЋЕЊЕ АРАШЕ НАДООР ВІГ ДАТА ПЛАТФОРМЕ У АНАЛИЗИ СЕНЗОРСКИХ ПОДАТАКА У САОБРАЋАЈУ

USING THE BIG DATA APACHE HADOOP PLATFORM IN THE ANALYSIS OF SENSORY DATA IN TRAFFIC

СЛАЂАНА ЈАНКОВИЋ

Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, s.jankovic@sf.bg.ac.rs

СНЕЖАНА МЛАДЕНОВИЋ

Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, snezanam@sf.bg.ac.rs

ДУШАН МЛАДЕНОВИЋ

Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

АНА УЗЕЛАЦ

Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs

СТЕФАН ЗДРАВКОВИЋ

Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs

Резиме: Apache Hadoop је девет година стара open-source платформа за обраду података. Први корисници ове платформе били су Интернет гиганти, као што су Yahoo и Facebook, а данас је она један од лидера Big Data револуције. У овом раду истраживане су могућности Apache Hadoop платформе у складиштењу и анализи података које генеришу сензори у саобраћају. Представљене су могућности и најзначајнији сервиси Apache Hadoop платформе, са посебним освртом на оне компоненте платформе које могу дати најбоље резултате у обради података у саобраћају. Предложен је један сценарио batch обраде и анализе података генерисаних кретањем возила базиран на коришћењу HDFS (Hadoop Distributed File System) и HiveQL упитног језика.

Кључне речи: Big Data, Apache Hadoop, Сензорски подаци, Анализа података.

Abstract: Apache Hadoop is a nine-year-old open-source platform for data processing. The first users of this platform were Internet giants such as Yahoo and Facebook, and today it is one of the leaders of the Big Data revolution. This paper investigated the possibilities of Apache Hadoop platform in the storage and analysis of data generated by sensors in traffic. It is presented the possibilities and the most important services of Apache Hadoop platform, with special emphasis on those platform components that can give the best results in the processing of traffic data. It is proposed a scenario of batch processing and analysis of data generated by the movement of the vehicle based on the use of HDFS (Hadoop Distributed File System) and HiveQL query language.

Keywords: Big Data, Apache Hadoop, Sensory Data, Data Analysis.

1. УВОД

Живимо у ери података. Није лако проценити укупну количину података који се складиште електронски, али једна студија фирме "International Data Corporation" процењује величину "дигиталног универзума" у 2013. години на 4.4 зетабајта (енгл. zettabytes) и предвиђа њен десетоструки раст до 2020. на 44 зетабајта [1]. Зетабајт је једнак 10^{21} бајта, што је еквивалентно хиљади ексабајта (енгл. exabytes), милиону петабајта (енгл. petabytes), или милијарди терабајта (енгл. terabytes). Количина података коју генерише свака особа има тренд раста, али је још значајнији раст количи-

не података које генеришу машине, у оквиру Internet of Things концепта [2].

У свим видовима саобраћаја све су присутнији различити сензори, који готово непрекидно генеришу податке. У овом раду предложен је модел складиштења, обраде и анализе сензорских података у саобраћају на Apache™ Hadoop® Big Data платформи. Термин Big Data односи се на информациони ресурс који по обиму података, разноврсности формата и брзини пристизања података превазилази могућности традиционалних система за управљање базама [3].

У другој секцији рада представљене су могућности и најзначајнији сервиси Apache™ Hadoop® платформе. У трећој секцији предложен је један сценарио складиштења и анализе података генерисаних кретањем возила, базиран на коришћењу HDFS (Hadoop Distributed File System) платформе и HiveQL упитног језика. У последњој секцији дати су закључци о могућности коришћења Apache™ Hadoop® платформе у саобраћајном инжењерству.

2. АРАСНЕ НАДООР ПЛАТФОРМА

Apache™ Hadoop® је покретачка снага за раст Big Data индустрије. Hadoop омогућава јефтину обраду великих количина података, без обзира на њихову структуру. Под великом количином података овде се подразумева ред величине од 10GB, 100GB и више од тога. Традиционалне релационе базе података дају одличне резултате у обради структурираних података и омогућавају складиштење великих количина података. Међутим, неопходност структурираности података за последицу има рестрикцију типова извора података који се могу користити. У тој сфери Hadoop доноси велики напредак, јер нуди складиштење и обраду хетерогених података, као што су: сензорски подаци, лог фајлови, подаци са друштвених мрежа, слике, видео записи, итд.

За складиштење података Hadoop нуди свој дистрибуирани систем датотека - Hadoop Distributed File System (HDFS). HDFS се од других дистрибуираних система разликује у томе што је толерантан на грешке и што је дизајниран тако да буде распоређен на јефтеном хардверу. HDFS је погодан за апликације које раде batch обраду великих скупова података, а мање је погодан за интерактивно коришћење од стране корисника. За обраду података складиштених на HDFS-у Hadoop нуди MapReduce. MapReduce подржава модел програмирања погодан за претраживање великих скупова података. Његове кључне предности су скалабилност и робусност [4].

3. АНАЛИЗА СЕНЗОРСКИХ ПОДАТАКА У САОБРАЋАЈУ НА АРАСНЕ НАДООР ПЛАТФОРМИ

У праћењу саобраћаја на државним путевима у Републици Србији значајну улогу имају аутоматски бројачи саобраћаја (АБС), базирани на индуктивним петљама. У Србији се тренутно користи 391 такав бројач саобраћаја [5]. У тренутку наилаaska возила на индуктивну петљу бројач саобраћаја генерише бројне податке, међу којима је и брзина кретања возила. Једна од најзначајнијих анализа, која се спроводи у циљу подизања нивоа безбедности у друмском саобраћају, је анализа брзина возила. Apache™ Hadoop® Big Data платформа поседује бројне могућности у анализи података који се на њој складиште [6]. У оквиру овог рада реализована је студија случаја базирана на коришћењу те могућности Apache™ Hadoop® платформе. Студија случаја обухвата складиштење и анализу података о брзинама возила које је током читаве 2015. године генерисало десет аутоматских бројача саобра-

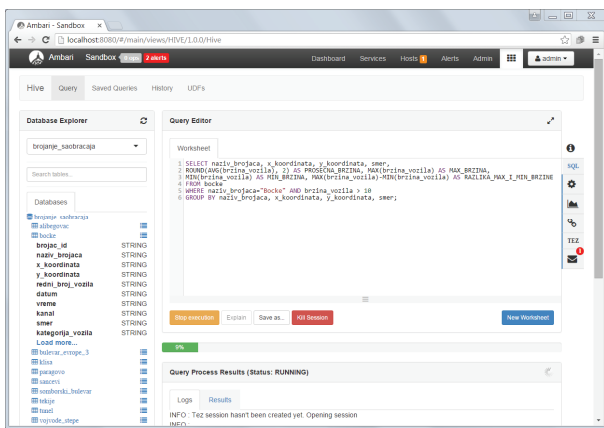
ћаја типа QLTC-10C, у граду Новом Саду и његовој околини.

Сваки аутоматски бројач саобраћаја, током сваког дана у години, генерише по један текстуални (.txt) фајл. За свако возило које региструје бројач у txt датотеци креира се један запис. Запис у txt фајлу садржи следеће податке:

- индекс: дневи редни број возила;
- датум и време: у формату dd.mm.yy hh:mm:ss;
- канал: може узимати вредности: 0, 1, 2 или 3;
- трака: може узимати вредности: 0 (возило у саобраћајној траци 1) или 1 (возило у траци 2);
- категорија возила: једна од 11 ознака;
- брзина возила: изражена у [km/h];
- дужина возила: без фактора корекције, у [cm].

Подаци које генеришу АБС обрађени су на Big Data платформи према следећем сценарију:

1. прикупљени подаци са бројача саобраћаја постављени су на HDFS. Будући да је било неефикасно радити са $365 \times 10 = 3650$ txt фајлова, за сваки бројач саобраћаја обједињен је садржај његових 365 txt фајлова у један txt фајл. За ту намену развијена је Windows апликација у развојном окружењу Visual Studio 2015 и програмском језику Visual Basic. Ова апликација је за сваки бројач креирала по један txt фајл и у њега уписала све исправне записе из 365 фајлова које је он генерисао. На тај начин је од 3650 txt фајлова креирано 10 великих txt фајлова;
2. уз помоћ корисничког интерфејса Apache Ambari, upload-овано је 10 великих txt фајлова на HDFS;
3. уз помоћ Apache Hive сервиса и упитног језика HiveQL, на Hadoop платформи креирана је база података БРОЈАЊЕ САОБРАЋАЈА;
4. у бази података, за сваки txt фајл, тј. за сваки бројач саобраћаја, креирана је по једна табела. Свака од 10 табела садржи колоне X_koordinata и Y_koordinata, које представљају GPS (Global Positioning System) координате бројача саобраћаја;
5. креирани су HiveQL упити чијим су извршавањем табеле базе података „напуњене“ подацима из txt фајлова који су смештени на HDFS;
6. у бази података креирана је табела СВИ_БРОЈАЧИ у коју су уз помоћ HiveQL упита „пресути“ подаци из свих 10 табела базе;
7. над табелом СВИ_БРОЈАЧИ извршавани су бројни HiveQL упити чији резултати омогућавају анализу брзина возила. На Слици 1 приказан је један такав упит којим се, између осталог, израчунава просечна брзина возила у 2015. години на бројачком месту Боцке;
8. резултати HiveQL упита пласирани су у нове табеле базе података, како би били трајно сачувани и како би се омогућио приступ тим подацима из Microsoft Office Excel 2013 алата;
9. сви резултати HiveQL упита импортовани су у Excel 2013, уз помоћ Microsoft Query Wizard-a;
10. графичка презентација и геолоцирање израчунаних вредности извршено је уз помоћ Excel 2013 додатака Power View и Power Map.



Слика 1: Пример извршавања HiveQL упита на Apache™ Hadoop® платформи у Apache Ambari окружењу

бројачких места у Новом Саду и његовој околини. На Apache™ Hadoop® платформи извршени су HiveQL упити уз помоћ којих су возила на сваком бројачком месту и за сваки смер кретања, разврстана у 22 брзинске категорије. На Слици 2 приказан је један такав упит, којим су пребројана возила на бројачком месту Алибеговац, која су се кретала брзином између 51 и 55 km/h.

```
INSERT INTO TABLE BROJ_VOZILA_51_55
SELECT naziv_brojaca, X_koordinata, Y_koordinata, smer, COUNT(*)
FROM ALIBEGOVAC
WHERE CAST(TRIM(brzina_vozila) AS TINYINT) BETWEEN 51 AND 55
GROUP BY naziv_brojaca, x_koordinata, y_koordinata, smer;
```

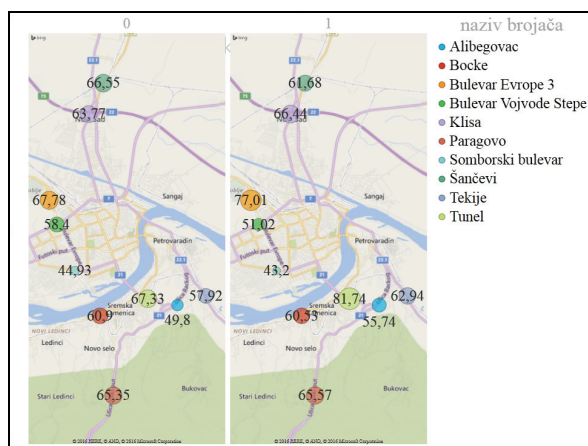
Слика 2: HiveQL упит којим је израчунат број возила на бројачком месту Алибеговац, за брзинску категорију 51-55 km/h, за оба смера кретања возила

Истраживањем је евидентирана брзина 37 828 912 возила, која су током 2015. године регистрована на 10

Табела 1: Број евидентираних возила у 2015. години, на бројачким местима, по брзинским категоријама

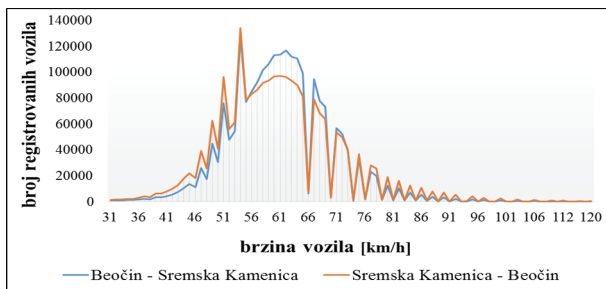
Брзинска категорија [km/h]	Алибеговац	Боцке	Булевар Европе 3	Клиса	Парагово	Шанчеви	Сомборски булевар	Текије	Тунел	Булевар Војводе Степе
до 20	13798	14456	561155	11254	7589	12694	209470	14609	251039	4002
21-25	12694	7232	19275	7376	4632	9764	174707	5878	34872	3985
26-30	26454	8967	20440	7718	10856	13557	321658	8388	44489	13455
31-35	66247	13697	21105	9956	23930	21267	554955	15331	51312	50267
36-40	238276	34911	21345	22590	35628	48985	850694	52394	59363	179168
41-45	578134	110731	28547	63924	66254	119541	827587	201759	70921	467769
46-50	840953	315674	47559	161832	180876	259259	564975	522805	56624	805624
51-55	949356	807855	85540	405508	461875	526845	370185	980261	57978	1172404
56-60	624818	948582	126884	548861	582137	636139	152652	944042	81352	901218
61-65	398761	1009324	167827	714389	720647	836363	83045	933559	131635	668390
66-70	164169	475773	169894	457411	447043	547671	29595	490520	178046	256539
71-75	105609	363372	221433	480760	461370	573550	21059	423169	301057	168974
76-80	37652	133222	159051	239682	256701	301649	7320	190516	254742	53407
81-85	13934	51200	104199	105437	134344	139629	2678	84046	163739	18050
86-90	11085	39419	113360	95190	128623	114332	2072	71013	170917	13409
91-95	3456	13847	56400	34879	57726	40884	673	27556	77244	3983
96-100	1847	7496	38039	20129	38781	21806	369	16295	47092	2091
101-105	569	2432	14420	6278	14786	6538	87	5874	16222	599
106-110	688	2723	19131	8249	17758	6184	128	6377	20149	749
111-115	180	977	8237	2736	6944	1855	41	2245	7885	202
116-120	200	947	8543	3064	8228	1536	24	2513	8177	228
121-125	36	241	2081	783	2284	250	7	688	1887	63
Укупно	4088916	4363078	2014465	3408006	3669012	4240298	4173981	4999838	2086742	4784576

Резултати HiveQL упита, попут оног који је приказан на Слици 2, дати су у Табели 1. Резултати упита увезени су са Apache™ Hadoop® платформе у Excel 2013. Просечне брзине возила, које су израчунате упитом са Сlike 1, приказане су уз помоћ Excel 2013 додатака Microsoft Power View и Microsoft Power Map, на Microsoft Bing мапи (Слика 3). Коришћени Excel додаци поседују могућност филтрирања података, по једном или по више критеријума. Ова функционалност Excel-ових алата пружа могућност истовременог визуелног анализирања и геолоцирања података. Нпр., могу се селектовати и на мапи приказати само бројачка места на којима је просечна брзина кретања возила већа од неке изабране вредности.

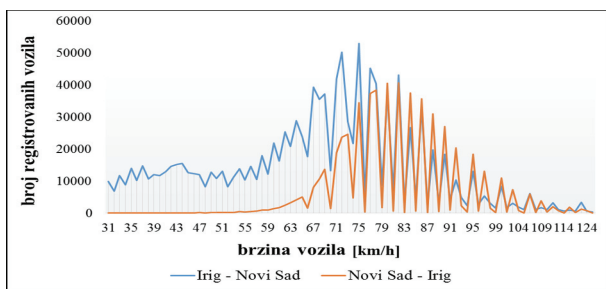


Слика 3: Просечне брзине возила на бројачким местима, по смеровима, у 2015. години

На Apache™ Hadoop® платформи извршени су и HiveQL упити којима су за свих 10 бројачких места и оба смера кретања возила, избројана појављивања сваке регистроване брзине. Резултати тих упита увезени су у Excel 2013 где су и графички приказани (Слика 4 и Слика 5). На Сlici 4 види се да су брзине на бројачком месту Боцке доста уједначене по смеровима кретања, док се на Сlici 5 може приметити да су на бројачком месту Тунел брзине значајно више за смер Нови Сад – Ириг, него за смер Ириг – Нови Сад.

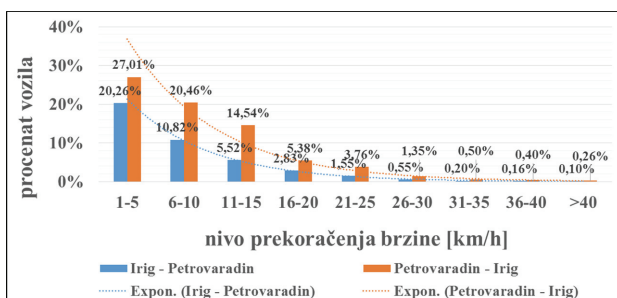


Слика 4: Број појављивања свих регистрованих брзина на бројачком месту Боцке, у 2015. години



Слика 5: Број појављивања свих регистрованих брзина на бројачком месту Тунел, у 2015. години

Један од најзначајнијих показатеља безбедности саобраћаја на путевима је број прекршилаца ограничења брзине [7]. На основу израчунатог броја појављивања сваке регистроване брзине, на сваком бројачком месту, израчуната је процентуална расподела возила према нивоу прекорачења брзине. Однос броја поштовалаца и прекршилаца ограничења брзине значајно се разликује по бројачким местима, па чак и по смеровима кретања на истом бројачком месту (Слика 6). На графикону приказаном на Сlici 6 може се уочити да процентуална расподела возила према нивоу прекорачења брзине доста добро одговара експоненцијалној расподели.



Слика 6: Процентуална расподела возила према нивоу прекорачења брзине на бројачком месту Алибеговац, по смеровима, у 2015. години

4. ЗАКЉУЧАК

Циљ рада био је да покаже да ли Big Data технологије могу да унапреде складиштење, обраду и визуелизацију сензорских података у саобраћају. Истраживање је показало да Apache™ Hadoop® платформа омогућава складиштење структурираних и неструктурираних података, као и да располаже алатима за ефикасну обраду великих количина хетерогених података, какви су сензорски подаци у саобраћају. Студија случаја је показала да би било оправдано на Hadoop Big Data платформи извршити анализу података са свих 391 АБС, колико их је тренутно инсталирано у Србији. Уверили смо се да ова платформа омогућава другим алатима, као што је Excel 2013, да са ње на једноставан начин увезу и графички прикажу податке.

Рад је обухватио и истраживање могућности примене Microsoft Business Intelligence алатâ Microsoft Power View и Microsoft Power Map, за анализу, визуелизацију и геолозирање података у саобраћају. Установили смо да ови алати омогућавају ефикасну анализу великих количина података, а посебно су корисни у саобраћају због могућности приказивања израчунатих показатеља на саобраћајним мапама.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад делимично је подржан од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја РС, у оквиру пројекта 036012. Податке које генеришу аутоматски бројачи саобраћаја обезбедила је фирма МХМ - пројекат д.о.о. из Новог Сада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IDC Research, Inc., "The Digital Universe of Opportunities", 1.6.2016. доступно на: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/index.htm>
- [2] Zeng, G., "Application of Big Data in Intelligent Traffic System", *IOSR Journal of Computer Engineering*, 17(1) (2015) 1-4.
- [3] Јанковић, С., Младеновић, С., Младеновић, Д., Здравковић, С., Узелац, А., "Big Data технологија у саобраћају: Студија случаја аутоматских бројача", *Техника*, 2 (2016), 281-288.
- [4] White, T., *Hadoop: The Definitive Guide*, O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, 2015.
- [5] Липовац, К. и др., "Ефекти примене аутоматских бројача саобраћаја у контроли прекорачења брзине на државним путевима Републике Србије", *Зборник радова Међународне конференције "Безбедност саобраћаја у локалној заједници"*, Крагујевац, Србија, 22-25. апр. 2015, стр. 131-140.
- [6] Kumar, S., Toshniwal, D., "A data mining framework to analyze road accident data", *Journal of Big Data*, 2(26) (2015) 1-18.
- [7] Суботић, Ј., Јовичић, О., Симић, М., Митровић, Ђ., "Управљање брзинама на путевима", *Техника*, 5 (2014), 844-852.



ТЕСТИРАЊЕ МОБИЛНИХ АПЛИКАЦИЈА

MOBILE APPLICATIONS' TESTING

ТАМАРА ЖИВКОВИЋ

Електротехнички факултет, Београд, tamaratanaskovic82@yahoo.com

МИОДРАГ ЖИВКОВИЋ

Електротехнички факултет, Београд, zivkovic_miodrag@hotmail.com

Резиме: Мобилне апликације у последњих неколико година доживљавају експанзију, упоредо са све моћнијим и комплекснијим уређајима нове генерације. Иако мобилне апликације имају ограничене рачунарске ресурсе, очекује се да буду агилне и поуздане као традиционалне десктоп апликације. Овај рад истражује нове правце у тестирању мобилних апликација и разматра неопходност постојања специфичног приступа тестирању у односу на тестирање традиционалних апликација.

Кључне речи: мобилне апликације, тестирање софтвера.

Abstract: Mobile applications had a big expansion in the past few years, together with more and more powerful and complex mobile devices of the new generation. Although mobile applications have limited computing resources, it is expected that they are as agile and reliable as traditional desktop applications. This paper explores new ways of testing of mobile applications, and considers necessity of specific approach to testing.

Keywords: mobile applications, software testing.

1. УВОД

Са приближно три милијарде људи који користе мобилне телефоне широм света, и још већим бројем мобилних уређаја који могу приступити Интернету, будућност Интернета је дефинитивно у мобилности. Један од главних циљева развоја мобилних апликација је смањење јаза између десктоп рачунара и мобилних уређаја.

Апликације које се извршавају на мобилним уређајима нове генерације (смарт телефони и таблети) су постале толико популарне да представљају револуцију у ИТ сектору. Према проценама и истраживањима тржишта, тржиште мобилних апликација је 2010. године вредело 10 милијарди долара, а 2015. године 41 милијарду долара, са тенденцијом раста сваке године. Очекује се да 2020. године тржиште премаши вредност од 100 милијарди долара. Као најновији пример, након лансирања Рокетон Го апликације, унутар првих месеца дана тржишна вредност компаније Nintendo се практично удвостручила и сада вреди преко 40 милијарди долара. До данас, игра има преко 75 милиона корисника, са тенденцијом свакодневног даљег раста.

У почетку, намена већине мобилних апликација је била забава. Сада, мобилне апликације обухватају и критичне домене попут NFC (Near Field Communication) технологије за плаћање или рецимо мобилног банкарства. Уз шриближно експоненцијални развој тржишта

поставља се императив поузданости тих апликација. Мобилне апликације нису имуне на багове, као што је приказано у истраживањима [1] и [2], па је неопходно приступити тестирању са подједнаком ако не и већом озбиљношћу као и код десктоп апликација.

Циљ овог рада је да пружи одговор на питање да ли су мобилне апликације толико различите од десктоп апликација толико да захтевају другачији приступ током тестирања, као и да пружи увид у нове истраживачке правце у процесу тестирања мобилних апликација.

2. СПЕЦИФИЧНОСТ МОБИЛНИХ АПЛИКАЦИЈА

Мобилна апликација се најчешће дефинише као апликација која се извршава на мобилним уређајима (мобилни телефони, таблети, дигиталне камере итд.).

Нека истраживања, попут [2], анализирају додатне захтеве мобилних апликација у поређењу са традиционалним. У [3] су описана главна ограничења мобилних уређаја: ограничени ресурси и извори енергије, поузданост, сигурност и перформансе.

2.1. Специфичности мобилних апликација

У наставку овог одељка наведене су најбитније специфичности мобилних апликација, које утичу на процес тестирања.

2.1.1. Ограничени ресурси

Иако су мобилни уређаји нове генерације све моћнији у погледу процесорске моћи и РАМ меморије, они су и даље далеко од ресурса који су доступни на лаптоп или десктоп рачунарима. Таблети најновије генерације, на пример, имају око 2GB РАМ меморије, процесоре са 4 језгара и 32/64 GB интерне меморије. Самим тим, мора се посматрати како мобилна апликација користи ресурсе, како би се избегао пад перформанси уређаја и апликације, као и неправилан рад система.

2.1.2. Ограничени извори енергије

За разлику од рачунара, мобилни уређаји се не могу ослањати на постојање сталног напајања. Различите мобилне апликације често имају веома различиту потрошњу енергије. Уколико нека апликација захтева да све време буде активна 3G или Wi-Fi конекција, она драстично утиче на аутономију мобилног уређаја на коме се извршава. Овако редукована аутономија може представљати велики проблем, па је неопходно стално посматрати и евалуирати потрошњу енергије сваке мобилне апликације

2.1.3. Повезивање

Могућност повезивања је једна од најбитнијих карактеристика мобилних уређаја. Мобилне апликације се обично повезују на мобилне мреже или бежичне мреже које се веома разликују по питањима брзине преноса података, сигурности и поузданости конекције. Све претходно наведено може значајно утицати на свеукупно понашање апликације. Неопходно је обавити детаљно функционално тестирање узимајући у обзир различите типове мобилних или бежичних мрежа. На пример, у случају повезивања апликације на мрежу мобилне телефоније, често је неопходно извршити тестирања за сваки тип мреже: 2G, 3G и LTE, као и понашање при прелазима из једног типа мреже у други (handover). Такође, потребно је обратити пажњу на понашање апликације у случајевима слабог или ускраћеног сервиса.

У пракси, немогуће је тестирати свако могуће окружење и сваки могући контекст, јер врло брзо долази до комбинаторне експлозије и превеликог броја тестова. Због тога је неопходно одредити који сценарији употребе апликације треба да буду подржани, како би се обезбедила одговарајућа покривеност тестовима.

2.1.4. Различити кориснички интерфејси и различити произвођачи

Због различитих димензија и резолуција екрана различитих мобилних уређаја једна мобилна апликација може да изгледа веома различито на више уређаја, то-

лико да на неком типу уређаја апликација буде потпуно неупотребљива у случају лоше имплементираних графичког интерфејса.

Тестирање графичког интерфејса апликације је од виталног значаја у случају мобилних апликација. Пошто различити мобилни уређаји могу различито да тумаче исти код апликације, неопходно је извршити детаљно тестирање графичког интерфејса на свим уређајима које апликација званично подржава. Како такво тестирање може да буде веома захтевно и скупо са аспекта расположивих ресурса и временских рокова, компаније као што су Xamarin и Perfecto Mobile су од скоро почеле да нуде услугу тестирања мобилних апликација у cloud окружењима где клијент сам може да бира подржане уређаје. Тестове може да обезбеди сам клијент, а ако тестова нема, ове компаније нуде и услугу писања аутоматских тестова. Резултати се добијају у току неколико сати што омогућава програмерима да благовремено исправе бугове [4][5].

2.1.5. Екрани осетљиви на додир

Сви мобилни уређаји најновије генерације имају екране осетљиве на додир. Уколико је екран лошег квалитета, угрожено је комплетно коришћење мобилног уређаја. Тестирање мобилних апликација мора да узме у обзир и тестирање екрана на начин на који га корисници користе. Најновије платформе за тестирање нуде и ову услугу [4][5].

2.1.6. Различити оперативни системи

Постоји велики број примера багова у апликацијама који су проузроковани проблемима у оперативном систему уређаја. Штавише, нове верзије мобилног оперативног система су веома честе, а нису увек уназад компатибилне са претходним верзијама, што доноси читав низ проблема. Мобилна апликација која је потпуно исправно функционисала на претходној верзији оперативног система, након извршеног упдате-а може постати делимично или потпуно неисправна.

Због наведеног, неопходно је извршити тестирање рада мобилне апликације како на циљаној верзији оперативног система, тако и на свим претходним верзијама оперативног система уназад до верзије оперативног система која је проглашена за минимум у развоју апликације. Такође, препоручљиво је након сваког новог упдате-а оперативног система (нарочито у случају да је у питању major version release) урадити регресионо тестирање како би се осигурало да је апликација и даље потпуно функционална [6].

3. СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОЦЕСА ТЕСТИРАЊА

Тестирање мобилних апликација, као и других софтверских система, се типично дели на следеће нивое тестирања: јединично, интеграционо и системско тестирање. Оваква структура нивоа тестирања типично одговара традиционалном V-моделу тестирања софтвера, где се тестови извршавају у стриктном редоследу.

У случају агилних пројеката, ови нивои се могу више преклапати [7].

Друга класификација тестирања је према приступу тестирања: структурно (базирано на коду) и функционално тестирање (базирано на спецификацији).

3.1. Нивои тестирања

3.1.1. Јединично тестирање

Не постоје значајне разлике у јединичном тестирању мобилних апликација у односу на традиционалне апликације. Јединично тестирање даје програмерима могућност да тестирају свој написани код. Најчешће се тестира појединачна јединица изворног кода или део класе. Јединични тест представља мали део кода, који тестира функционалност и понашање другог дела кода. Програмери често користе одређена окружења за писање јединичних тестова. Андроид програмери најчешће користе JUnit (уграђен у Android Studio) за писање јединичних тестова [8]. Са друге стране, iOS програмери најчешће користе XCTest или OCUit који су уграђени у Xcode [9].

Главна предност јединичних тестова је чињеница да је извршавање ових тестова аутоматизовано, у смислу да програмер пише ове тестове једном, а они се извршавају онолико пута и онолико често колико је то потребно. Ова особина олакшава регресионо тестирање багова. То су грешке које су исправљене, али су се поново појавиле након развоја нове функционалности програма.

3.1.2. Интеграционо тестирање

Након завршетка јединичног тестирања, јединице и модули се интегришу у целину. Циљ интеграционог тестирања је верификација функционалности, перформанси и поузданости између модула који су интегрисани.

Док већина актуелних приступа интеграционом тестирању посматра мобилну апликацију као изоловану целину, мора се размотрити и комуникација између различитих апликација путем интента и провајдера садржаја која је такође могућа. Када се тестира таква сарадња између више апликација, мора се детаљно посматрати ток података унутар апликације која се тестира, као и између више апликација које комуницирају са апликацијом под тестом.

3.1.3. Системско тестирање

Системско тестирање најчешће укључује извршавање мобилне апликације на циљаном мобилном уређају. Системско интеграционо тестирање укључује и повезивање на back-end сервере уколико постоје. Системско и системско интеграционо тестирање су главни домен софтвер тестера. Два нова концепта су тестирање компатибилности и тестирање апликације на терену.

Тестирање компатибилности (Device tests) представља тестирање апликације и различитих мобилних уређаја како би се проверила и осигурала компатибилност. Концепт је извршавање истог сета тестова над апликацијом на различитим уређајима. Тестирање апликације на терену (Field Test) подразумева тестирање апликације у реалном окружењу употребе. На пример, апликација која као крајње кориснике циља људе који путују на посао превозом (попут различитих електронских новина, итд.) мора бити тестирана у возовима, трамвајима, аутобусима и тунелима (мобилно тестирање). Апликација коју користе планинари мора да ради како у долинама тако и на планинама (где можда нема сигнала мреже мобилне телефоније).

У прошлости, главни окидачи системског тестирања су биле нове верзије апликације. Нови окидачи у свету мобилних апликација су нови уређаји и нове верзије оперативних система. Апликација се мора тестирати у најкраћем могућем року, што у пракси значи чим изађу на тржиште, мада је још боље уколико постоји могућност пре-теста, уколико је нови уређај или оперативни систем доступан и пре изласка на тржиште.

3.2. Приступи тестирању

3.2.1. Структурно тестирање

Структурно тестирање се фокусира на имплементацију програма. Циљ је да се изврше и активирају све програмске структуре и структуре података у програму. Програмски језици који се користе у развоју мобилних апликација уносе одређене специфичне структуре за контролу мобилности, сензора и потрошње енергије. Ова својства програмских језика се морају урачунати у прављењу графова тока контроле и тока података, као и одговарајућих критеријума покривености.

3.2.2. Функционално тестирање

Функционално тестирање мобилних апликација захтева прецизну спецификацију како функционалности апликације тако и окружења у коме ће се апликација извршавати. Нарочито су корисни приступи базирани на стањима, како би се прецизно дефинисала различита стања у којима мобилна апликација може бити у односу на различите улазне податке који долазе од корисника или сензора. Овакав приступ базиран на стањима се може користити и за моделовање различитих режима извршавања апликације, попут скоро празне батерије или мобилног уређаја који је у режиму летења.

4. СПЕЦИФИЧНЕ МЕТОДЕ ТЕСТИРАЊА

Различите додатне методе и стратегије тестирања су доступне за мобилне апликације, од којих се највише истичу тестирање перформанси и поузданости, тестирање меморије и потрошње енергије и тестирање сигурности.

Тестирање перформанси и поузданости апликације у великој мери зависи од ресурса мобилног уређаја, затим од режима рада уређаја, квалитета конекције, итд.

Тестирање меморије се односи на тестирање цурења меморије која је ограничена и може утицати на престанак функционисања како апликације која се тестира, тако и других апликација на уређају. Тестирање потрошње енергије се фокусира на утицај рада апликације на аутономност уређаја и дужину трајања батерије.

Тестирање сигурности је од посебног значаја у случају мобилних апликација због саме мобилности уређаја и кретања кроз различите мреже са различитим сигурносним нивоима. Сам оперативни систем мобилног уређаја може такође имати велике сигурносне проблеме. У јулу 2015. године, пронађена је потенцијална рањивост у оперативном систему Андроид [10]. Ова рањивост, позната по надимку Stagefright, је лежала дубоко у самом оперативном систему. Сама рањивост била би експлоатисана путем слања видео фајла преко MMS сервиса, који би у теорији могао да се користи за напад кроз libStageFright механизам који помаже у процесирању видео фајлова. Пошто libStageFright датира уназад до Андроид 2.2, стотине милиона Андроид уређаја је било рањиво до избацивања нове верзије ОС.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду смо дали преглед начина тестирања мобилних апликација и специфичности у односу на традиционалне методе тестирања. Може се закључити да су мобилне апликације довољно различите од традиционалних тако да захтевају нове приступе тестирању и нове технике. Мобилност уређаја, уз неопходност тестирања перформанси, сигурности и потрошње

енергије морају бити укључени у процес тестирања мобилних апликација.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. Hu, I. Neamtiu, *Automating GUI Testing for Android Applications*, Proceedings of the 6th International Workshop on Automation of Software Test AST 11, 2011, 77-83.
- [2] A. I. Wasserman, *Software Engineering Issues for Mobile Application Development*, Proceedings of the workshop on Future of Software Engineering Research FoSER 10, New York, USA, 2010, 397-400.
- [3] M. Satyanarayanan, *Fundamental Challenges in Mobile Computing*, Proceedings of the 15th ACM symposium on Principles of distributed computing PODC 96, New York, USA, 1996, 1-7.
- [4] <https://www.xamarin.com/test-cloud>
- [5] <https://www.perfectomobile.com/continuous-quality-lab>
- [6] <http://www.keynote.com/resources/white-papers/testing-strategies-tactics-for-mobile-applications>
- [7] Klaus Haller, Konrad Schlude: How Scrum Changes Test Centers, Agile Record, August 2013.
- [8] http://developer.android.com/tools/testing/testing_android.html
- [9] https://developer.apple.com/library/ios/documentation/ToolsLanguages/Conceptual/Xcode_Overview/UnitTesting.html
- [10] <http://www.androidcentral.com/stagefright>



ПРИКАЗ ФАЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ИНФОРМАЦИОНОГ СИСТЕМА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

REVIEW OF INFORMATION SYSTEM LIFE CYCLE PHASES IN MOD AND SAF

ДЕЈАН МИЛЕНКОВИЋ

Управа за телекомуникације и информатику ГШ ВС, Београд, dejan.milenkovic@vs.rs

Резиме: Рад представља приказ оригиналног методолошког упутства за развој информационог система под специфичним околностима и за потребе организација као што је војна. У раду су представљени оквирни процеси фаза животног циклуса информационог система у МО и ВС. Приказана методологија је широко применљива, нарочито у организацијама сличне сложености и структуре.

Кључне речи: Информациони систем, животно циклус информационог система, Војска Србије

Abstract: The paper presents an original view of the methodological guidelines for the development of information systems under specific conditions and needs of organizations such as the military. The paper presents a framework processes lifecycle phase of information systems in MOD i SAF. The presented methodology is widely applicable, especially in organizations of similar complexity and structure.

Keywords: Information system, Information system life cycle, Serbian Armed Forces

ИСТАРАЖИВАЊЕ
И РАЗВОЈ



STRATEGIC RESEARCH AND INNOVATION AGENDA FOR TRADITIONAL FOOD INDUSTRY: CASE OF TRADITIONAL SWEET FRUIT SECTOR IN SERBIA

БУРО КУТЛАЧА

Универзитет у Београду, Институт “Михајло Пупин”, 11060 Београд, Волгина 15, djuro.kutlaca@pupin.rs

ДИЈАНА ШТРБАЦ

Универзитет у Београду, Институт “Михајло Пупин”, 11060 Београд, Волгина 15, dijana.strbac@pupin.rs

ДУШИЦА СЕМЕНЧЕНКО

Универзитет у Београду, Институт “Михајло Пупин”, 11060 Београд, Волгина 15, dusica.semencenko@pupin.rs

МИРЈАНА ПЕШИЋ

Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, 11080, Београд - Земун, Немањина 6, mpesic@agrif.bg.ac.rs

ВИКТОР НЕДОВИЋ

Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, 11080, Београд-Земун, Немањина 6, vnedovic@agrif.bg.ac.rs

Abstract: *Small-scale producers of traditional food across the Europe are nowadays facing the challenges of having to meet many existing regulations and to acquire new knowledge on improved technological solutions related to their products, while at the same time preserving the tradition and the authenticity of their products. The research presented in this paper was aimed to detect problems and collect opinions from all stakeholders from this part of agro-food sector. The other aim was to provide business-related solutions for knowledge transfer, and concrete suggestions to enhance the business and marketing aspects of those traditional products to make producers more competitive or to keep them in the market at all. Project also aims to interlink European Research Sector and Traditional Food Industry on grain, fish, vegetables, mushrooms, sweet fruits and olives to improve transfer of knowledge for innovation. The expected result of the project was the establishment of the knowledge transfer network through the organization of different training and stakeholder workshops throughout the Europe. In this paper is showing the final deliverable of this project which is Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) for Traditional Food Industry. Serbia is involved in formation of sub-network “Traditional Products of Fruits”. Raspberry and plum are recognized as the most important traditional fruits. Information obtained through the project activities will be valuable for the creation of the National and European Strategic Research and Innovation Agenda for traditional foods.*

Keywords: *traditional sweet fruits, raspberry, plum, SRIA, TRAF00N, innovation, knowledge transfer, Serbia.*

1. TRADITIONAL FOOD IN SERBIA

Research presented in this paper is partly realised under the project: “Traditional Food Network to improve the transfer of knowledge for innovation” (TRAF00N, FP7 project, Network for the transfer of knowledge on traditional foods to SMEs, 2014-2016).

TRAF00N defines *Traditional Food* as: “Food which is produced according to the gastronomic heritage by at least three generations, which shows specific feature(s) that distinguish it clearly from other similar products of the same category in terms of the use of ‘traditional ingredients’ (raw materials of primary products) or ‘traditional composition’ or ‘traditional type of production and/or processing method’. Furthermore, it is associated with a certain local area, region or country.” [1]

Main objectives of the project are:

- 1) Improvements in technology transfer to SMEs producing and processing traditional foods:
 - for improved food quality, safety and environmental performance;

- stabilized production protocols;
 - correct use of IPR, European food law, use of labels, marketing, product development strategies.
- 2) Development of Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) for traditional foods responding to the needs of all stakeholders; and
 - 3) Stimulation of entrepreneurship among food researchers, commercial take-up of food R&D results, and entrepreneurial networking.

Project partners from Serbia within TRAF00N consortia have selected two fruits as traditional food from Serbia: raspberry and plum.

Raspberry

Raspberries are one of Serbia’s best known and most widely exported fruits. Serbia is one of the biggest producers and exporters of raspberries in the world. They are prized worldwide for their colour, unique taste and firmness. Between 90-95% of Serbian raspberries is the North American Willamette variety from Oregon [2].

During the recent years in Serbia, average annual production of raspberry was about 80.000 t which is 5,5% of total production of fruit. Over 90% of raspberry produced is being frozen and exported and the rest is being sold fresh or made into other products [3].

The Republic of Serbia occupies a high position in value of produced quantities of raspberries, in comparison with world countries producers of raspberries. In 2012, it was fourth, in 2011 second (238287 thousand dollars) and 2010 took the fourth place. In the export of agricultural and food products, 10.84% is the share of raspberries in the period 2004 to 2011. Raspberry exports in the mentioned period reached a maximum in 2011 and amounted 210 million dollars. The biggest competitive battle between manufacturers, Republic of Serbia and Polish, are heading to the markets of Germany, France, Austria and Belgium [4].

Plum

Plum is the most common species of fruit trees in Serbia, and has the greatest economic importance. However, it the most cultivated one variety - Stanley. In addition to large and versatile use value, good quality and high ranners, the distribution has contributed and easy propagation of shoots and selfing.

According to the number of plum trees and the production of 40,822,000 from 581,874 tons in 2011 which represents a drop in the produced relative to 662,631 tonnes per year in 2009, when Serbia was second in the world, following the United States, Romania, Turkey, Spain, etc. [5]

Serbia holds second place, after China, with 158.000 ha under plum trees, which is 6.24% of total world area under plum. In renewed Serbian export, fruit participate with 17%, plum participate with 10% in fresh fruit export, and less than 1% in agricultural export in total [6].

2. SRIA FOR TRADITIONAL FRUITS IN SERBIA

At the beginning of the project, the needs of traditional fruits SMEs in Serbia have been investigated and collected (Inventory of Needs, IoN). With this purpose, four questionnaires, one for each traditional food category, were developed including issues from the entire food production chain, but also questions related to food safety and quality, and entrepreneurship & legal aspects. After extract the needs, SWOT analyses of the results for traditional fruits in Serbia were carried out with the following findings:

Strengths:

- Abundant raw material base for innovation
- Great potential of research sector in Serbia and great participation of research in food area
- Present and forthcoming investments in research infrastructure
- Developed international collaboration
- Patent and technical solutions database

Weaknesses:

- Absence of organized interconnecting (horizontal and vertical) in large systems and insufficient educated human resource for engagement
- Lack of applicable innovation on large number of subjects
- Lack of trust in protection and exploitation of intellectual goods and ignorance of the rules in protection system
- Weak interaction between industries and academic institutions as well as lack of innovation capacity and researchers' motivation for improving research in agriculture and food production
- Low networking among and inside research institutions

Opportunities:

- Strategic development of Serbia in the area of food and agriculture
- Branding of traditional and new products
- Financial opportunities in international pre-accession funds
- Increasing consumers' awareness on food products with additional value
- Building clusters and networking among subjects of innovation activity

Threats:

- Absence of strategic planning of innovation activity
- Absence of standardization and harmonization of legal regulations
- High regional competition and loss of existing markets
- Insufficient presence of institutions for technology and innovation transfer
- Unstable environment for investment

TRAFON partners, relevant SME associations and external specialist has analyzed during the multi-stakeholder workshops (MSWs) the results of IoN for the traditional fruits in Serbia with the main objectives: 1) prioritizing the needs collected in the IoN, 2) matching the needs identified in the IoN with the available transferable innovations identified by partners, 3) identifying those needs which do not require in depth research and may be solved without the development of new research projects, finding the solutions within the consortium experts, external scientists, or in collaboration with ongoing projects and 4) identifying those needs requiring new scientific approaches to be included as recommended research lines/initiatives in the Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA).

During 2015 and 2016, based on the results of MSWs, four Training Workshops (TWs) for SMEs have been held in Serbia on topic "Innovation in production and processing of raspberry and plume", attended by number of participants, including representatives of SMEs, individual producers, Faculties, Institutes, Innovation center, Science and Technology Park, Intellectual Property Office, Clusters, Laboratory of Food Control, media and press. Exchange of opinions, discussions and presentations has ser-

ved as crucial input for generation of ideas and proposals for improvement innovation and knowledge transfer in traditional sweet fruits sector in Serbia. In addition, questionnaire based survey is conducted for assessment of state of the art in traditional sweet fruits production, processing and distribution in the view to deliver relevant information for innovation in food supply chain and provide basis for proposal of the most important steps which should be undertaken to improve production of traditional sweet fruits in Serbia. Several important topics were recognized as very important for improvement of fruit sector: continual educations of all actors in food chain, better communication with local and national authorities, more involvement of academic community in creation and transfer of novel knowledge, straightening of associations and development of Innovation Strategy. During the TWs, the technological, legal, or business-related solutions for these previously identified needs/demands have been transferred to SMEs.

As additional knowledge transfer tool, a multi-lingual online Information Shop (www.trafoon.org) containing the information gathered and implemented within the TRAF00N network has been created. This free access online tool includes information (PDF files, e-books, audio and video files etc.) about innovations in primary production, processing and marketing of traditional food using regional raw materials in different languages.

Based on the detected innovation gaps and the identified needs that require further research, and complemented by SWOT analysis of the demands of SMEs during the MSWs, TRAF00N has developed national SRIA for the traditional fruits in Serbia in order to inform national policy makers about future research need of traditional fruits SMEs. Additionally, a general SRIA (no product-specific) for traditional foods at European level has been developed in collaboration with the FP7 TRADEIT project. This joint TRAF00N-TRADEIT SRIA will inform the European Commission and European policy makers about future research answering the identified needs of SMEs in Europe.

Major topics for national SRIA for traditional fruits in Serbia, are presented by the rank of the evaluated importance, are:

Primary production:

1. faster and better implementation of food safety management systems
2. development of multi resistant varieties for organic production
3. implementation of technical solutions for controlling pest and diseases management in organic and conventional production
4. cost-efficient implementation of water management system
5. establishment and development of certified planting material
6. breeding issue trade-off between productivity and quality

Processing (technology, energy, etc.):

1. better implementation of waste management and development of value-added by-products
2. adaptation of the processing technology in order to lower the energy consumption
3. development and implementation of modern processing technology
4. modernization of storage technology of raw materials and products
5. implementation of modern packaging to enhance shelf life, to reduce waste and to improve the post-harvest technology (storage)

Product (labelling, health/food safety, etc.):

1. reducing the diversity in forms, materials and numbers of packaging by raising consumers awareness (communicate on local environment, tradition and regional trademark)
2. producer targeted dissemination of knowledge on health, nutritional properties of their products
3. faster and better implementation of food safety management systems

Business (marketing, organization, consumers, regulations, etc.):

1. implementation, harmonization and creation of laws and regulation policy
2. simplification of the procedure leading to obtain certification
3. new business model (supply chain actor's balance)
4. building associations, clusters and food technology platform
5. increase the awareness on traditional food through continuous education and communication
6. branding of traditional products
7. constant improvement of policy conditions for labour management and organization of support.

3. CONCLUDING REMARKS

In addition to the development of the national Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) for traditional fruits in Serbia, all participants (stakeholders, decision makers, chamber of commerce, producers – SMEs, researchers, etc.) are discussed idea of establishment of the national technology platform in the agro food sector in Serbia.

Technology Platforms are industry-led stakeholder fora that develop short to long-term research and innovation agendas and roadmaps for action at EU and national level to be supported by both private and public funding. European Technology Platforms (ETPs) are policy instrument of the European Union, whose main goal is raising global competitiveness and building leadership positions of European economies. This will be achieved using new approach in linking science and industry – introducing 'bottom up' concept which brings industry in the position of leader that initiates and controls the process. ETPs span a wide range of technology areas and have to date played an important role by developing joint visions, setting Strategic Research and Innovation Agendas and contributing to the definition of the research priorities including those un-

der the Research Framework Programmes. Their aim was to contribute to increasing synergies between different research actors, ultimately enhancing European competitiveness.

Representatives from SMEs, higher education and research institutions, included in workshops, surveys and other research and evaluations within this project are asked whether they are willing to join initiative to create technology platform in the agro food sector in Serbia: National technology platform "Food for life". Big majority – 93.85% has expressed their willingness to join this initiative; no matter how big is their knowledge or ignorance about technology platforms.

REFERENCES

- [1] Internal document of TRAF00N project: Annex I - "Description of Work"
- [2] Serbia Investment and Export Promotion Agency, "Fruit industry in Serbia". Retrieved from <http://www.usz.gov.rs/files/publikacije/FruitIndustryInSerbia.pdf>
- [3] Kljajić, N., Vuković, P., Arsić, S., "Tendencies related to the production of raspberries in the Republic of Serbia", *Economics of Agriculture* 1 (2013), 39-48.
- [4] Radosavljević, K., "Unapređenje kapaciteta za proizvodnju i izvoz maline iz Republike Srbije", *Marketing* 45 (3) (2014), 240-251.
- [5] Agronomija.rs; Retrieved from: <http://agronomija.rs/2014/sljiva/>
- [6] Matković, M., „Possibilities of plum cultivation in the Republic of Serbia“, *Economics of Agriculture* 4 (2015), 1045-1060.

ACKNOWLEDGEMENTS:

Research presented in this paper was supported by the EU, under the project: "Traditional Food Network to improve the transfer of knowledge for innovation" (Project acronym: TRAF00N), Programme: FP7 - Seventh Framework Programme, THEME [KBBE.2013.2.3-02 KBBE.2013.2.3-02] [Network for the transfer of knowledge on traditional foods to SMEs], Grant agreement for: Coordination and support action, Grant agreement no: 613912, Project implementation period: 2014-2016

Research presented in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the project: "Research and Development of the Platform for Science Based Management of the Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia", 2011-2016, reg. no. III 47005



МАПИРАЊЕ КЉУЧНИХ ИСТРАЖИВАЧКИХ ИНСТИТУЦИЈА ИЗ ОБЛАСТИ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВА САРАДЊА СА ДРУГИМ ИНСТИТУЦИЈАМА У СРБИЈИ У ПЕРИОДУ ОД 1996-2015.

MAPPING OF KEY RESEARCH INSTITUTIONS IN THE FIELD OF OPERATIONS RESEARCH AND THEIR COOPERATION WITH OTHER INSTITUTIONS IN SERBIA IN THE PERIOD 1996-2015.

ЛАЗАР ЖИВКОВИЋ

Центар за истраживање развоја науке и технологије, Институт Михајло Пупин, lazar.zivkovic@pupin.rs
ЂУРО КУТЛАЧА

Центар за истраживање развоја науке и технологије, Институт Михајло Пупин, djuro.kutlaca@pupin.rs

Резиме: Методе и технике Операционих истраживања су пронашле примену у многим областима наука и од свог настанка до данас имају практичну примену у привреди. Главни циљ овог рада је идентификација најважнијих истраживачких институција из области Операционих истраживања у Србији у последњих 20 година. Методологија примењена у раду представља синтезу класичних библиометријских индикатора научне продуктивности са једне стране и мрежне анализе ко-ауторства у радовима индексираних у библиографској бази Web of Science. Истраживачке институције са највећом продукцијом истраживачких радова из ове области у Србији су: Факултет организационих наука, Математички институт Српске академије наука и уметности и Саобраћајни факултет Универзитета у Београду. Мрежни дијаграм указује на недовољну међу-институционалну сарадњу што говори да се истраживања у великој мери врше у оквиру једне институције.

Кључне речи: Операциона истраживања, Web of Science, Мрежна анализа.

Abstract: Methods and techniques of Operation research have found applications in many fields of sciences and, from its beginings until today, have practical application in the economy. The main objective of this study was to identify the most important research institutions in the field of Operations research in Serbia in the last 20 years. The methodology applied in this paper is a synthesis of classical bibliometric indicators of scientific productivity on the one hand and network analysis of co-authorship network of the papers indexed in bibliographic database Web of Science. Research institutions with the highest production of papers in this area in Serbia are: Faculty of Organizational Sciences, Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts and Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade. Network analysis indicates a lack of inter-institutional cooperation which shows that research is largely carried out within one institution.

Keywords: Operational Research Web of Science, Network analysis.

1. УВОД

У последњих 10 година у Србији се бележи значајан раст броја објављених радова у међународним часописима [1] [2], међутим у исто време и пад квалитета објављених радова [3]. У прилог овоме говори и анализа научноистраживачког развоја Србије [4] према којој је основни критеријум за евалуацију перформанси научноистраживачког сектора број објављених научних радова, како научника тако и институција. Област операционих истраживања постају препозната област током Другог светског рата прво решавајући краткорочне операционе проблеме а касније и дугорочне проблеме у области одбране, односно у војсци [5]. Методе ове науке су након рата веома брзо приме-

њене у цивилном сектору за решавање проблема у индустрији, производњи и пословању, медицини. Операциона истраживања имају изузетну важност у подршци одлучивању и смањењу ризика у безбедносним организационим системима на свим хијерархијским нивоима [6]. Развој операционих истраживања довео је до примене различитих метода као што су линеарно, нелинеарно, и динамичко програмирање, теорија игара, управљање залихама, фази линеарно програмирање, вишекритеријумска оптимизација и др. Операциона истраживања у данашње време углавном карактерише soft computing, неуро рачунарство, генетски алгоритми, теорија учења и сл.

Циљ рада је идентификација кључних институција у Србији које су кључни актери истраживања у области операционих истраживања у последњих 20 година као и мрежна анализа институционалне сарадње у објављивању радова. У другом поглављу рада је приказана методологија која је коришћена у раду, затим су дати резултати истраживања и на крају закључна разматрања.

2. МЕТОДОЛОГИЈА

Као извор података, коришћени су радови који су индексирани у библиографској бази *Web of Science* (WOS). *Web of Science* класификује све објављене радове у 151 истраживачку област. У циљу издвајања радова за анализу у раду, коришћене су следећи критеријуми за претрагу:

1. Адреса аутора: Србија и Југославија
2. Година објављивања рада: 1996-2015
3. Област: *Operations research management science*

Према наведеном критеријуму претраге, идентификовано је 268 објављених радова аутора из Србије и Југославије из области операционих истраживања у 20-огодишњем периоду. Преузети радови су даље анализирани са циљем издвајања институција аутора на раду и креирања фајлова који ће служити као инпут за мрежну анализу која је рађена коришћењем јавно доступног софтверског програма *Pajek* који је развијен на Универзитету у Љубљани. У раду су приказане следеће анализе:

- Преглед броја објављених радова по годинама у периоду од 1996 до 2015. године;
- Приказ утицаја објављених радова на НИ заједницу;
- Идентификација кључних институција носилаца истраживања из области операционих истраживања на територији Србије;
- Преглед ко-ауторства истраживача из различитих институција Србије као и анализа сарадње са иностранством (мрежна анализа).

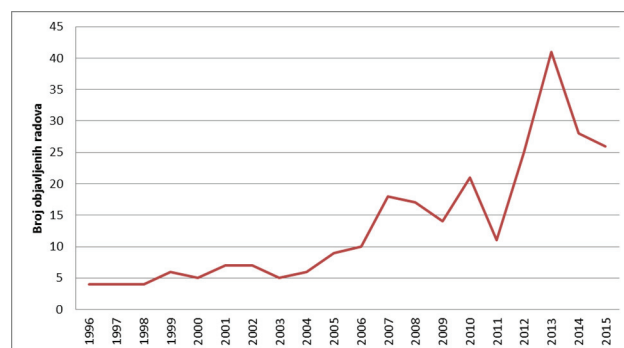
3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Од укупно 268 радова из области операционих истраживања који су објавили аутори из Србије, 227 радова је објављено у часописима док остали радови припадају зборницима радова који су резултат међународних симпозијума. У првих 10 година посматраног периода, заступљен је једноцифрен број радова аутора из Србије, након чега постоји тренд раста броја објављених радова који има нагли раст у 2013 години (слика 1). У последње две године анализираних периода постоји поново благи пад објављених радова.

Од укупно 268 радова, 189 има минимум један цитат. Просечан број цитата по раду је 13,45. У циљу добијања јасније слике о утицају радова на међународну научно-истраживачку заједницу, израчуната је вредност *H-index*-а. *H-index* има предност у односу на просечну цитираност, јер вредност просечне цитираности по раду може приказати нереалну слику због утицаја малог броја радова са великим бројем цитата. *H-index* је по-

казатељ који истовремено узима у обзир и научну продуктивност мерену бројем објављених радова, као и ефекте утицаја мерених бројем цитата [3]. Вредност *H-index* показатеља за 268 радова који су објављени у области операционих истраживања је 25. Ова вредност показује да постоји 25 радова који имају минимум 25 цитата.

У табели 1 су приказане институције аутора који су објављивали радове у овом периоду. Укупан број различитих институција чији истраживачи су објављивали радове је 75, међутим због прегледности, у табели су приказане институције које се појављују на минимум 3 рада у бази WOS. Као што се може видети у табели, три институције које имају значајно учешће у броју објављених радова у области операционих истраживања су: Факултет организационих наука (ФОН), Математички институт (МИ) САНУ и Саобраћајни факултет (СФ) Универзитета у Београду (УБ).



Слика 1: Број радова аутора из Србије из области операционих истраживања у периоду од 1996-2015.г. према бази WOS

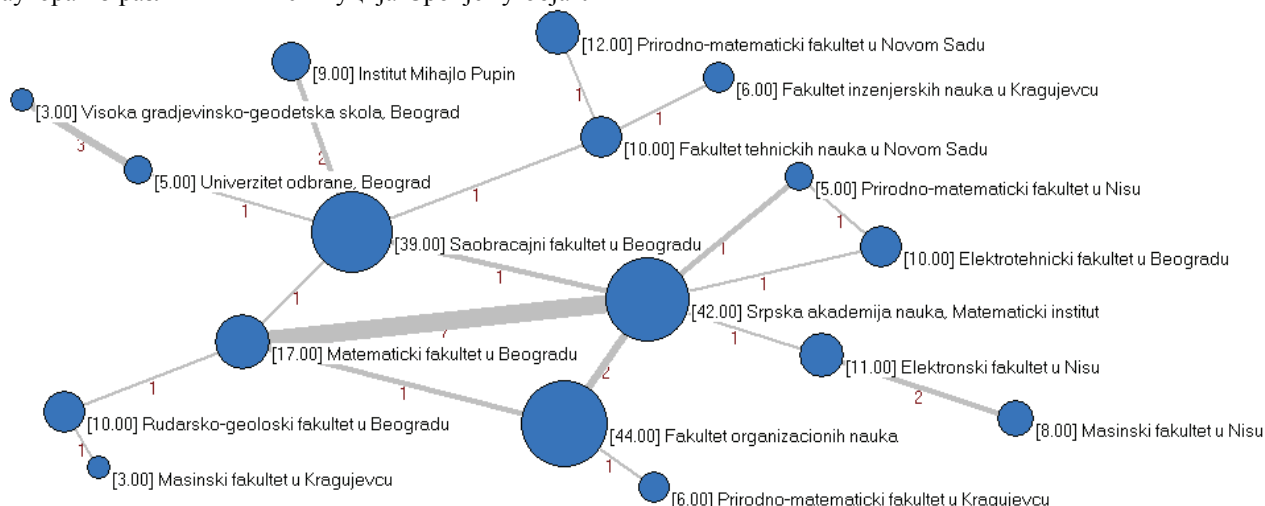
Табела 1: Број објављених радова према институцијама аутора у периоду од 1996-2015 према бази WOS

Институција	Број објављених радова
Факултет организационих наука	44
САНУ, Математички институт	42
Саобраћајни факултет у Београду	39
Математички факултет у Београду	17
Машински факултет у Београду	15
Природно-математички факултет у Новом Саду	12
Електронски факултет у Нишу	11
Електротехнички факултет у Београду	10
Факултет техничких наука у Новом Саду	10
Рударско-геолошки факултет у Београду	10
Институт Михајло Пупин	9
Машински факултет у Нишу	8
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу	6
Природно-математички факултет у Крагујевцу	6
Природно-математички факултет у Нишу	5
Грађевински факултет у Београду	5
Универзитет одбране, Београд	5
Мегатренд Универзитет	4
Машински факултет у Крагујевцу	3
Пољопривредни факултет у Новом Саду	3
Висока грађевинско-геодетска школа, Београд	3

На ФОН се истражују начини унапређења пословног управљања и одлучивања помоћу метода операцио-

них истраживања у разним областима користећи готове програмске пакете за његову подршку. Операциона истраживања имају такође дугу традицију и на СФ УБ. Истраживачи са СФ се баве применом метода операционих истраживања и вештачке интелигенције у саобраћају, транспорту и логистици [7]. На МИ САНУ фокус је углавном на развој математичких метода и програмирање. Поред наведених, може се видети да се методе операционих истраживања примењују и у области грађевинарства, машинства, полјопривреде, и др.

На слици 2 је приказан мрежни дијаграм сарадње аутора из различитих институција Србије у објављивању



Слика 2: Мрежни дијаграм сарадње аутора из различитих институција у процесу објављивања научних радова

На основу мрежног дијаграма може се видети каква је сарадња између институција у производњи новог знања као и каквог је интензитета дата сарадња. На основу визуелног приказа закључује се да највећа сарадња између институција постоји између МИ САНУ и Математичког факултета који имају 7 радова објављених у ко-ауторству. Сарадња између других институција је на релативно ниском нивоу, што указује да се аутори углавном одлучују на индивидуална истраживања или у сарадњи са иностраним партнерима. Од укупног броја објављених радова, у ко-ауторству са иностраним ауторима објављено је укупно 95 радова што чини нешто више од једне трећине. У радовима у којима учествују и аутори из иностранства, углавном се налази једна до две институције. У табели 2 су приказане државе иностраних институција из којих долазе ко-аутори у радовима аутора из Србије као и број заједничких радова. Може се закључити да аутори из Србије у процесу производње новог знања у области операционих истраживања највише сарађују са истраживачима из Енглеске, Канаде и САД.

Табела 2: Државе иностраних ко-аутора у радовима објављеним у из области операционих истраживања

Држава ко-аутора на радовима	Број радова у ко-ауторству
Енглеска	24
Канада	21
САД	17
Француска	7
Шпанија	6
Бразил	5
Кина	4
Немачка	3
Тајван	3
Словачка	3
Холандија	3
Мађарска	2
Македонија	2
Шкотска	2
Тунис	2
Белгија	2
Италија	2
Аустрија	2
Словенија	1
Швајцарска	1
Црна Гора	1
Израел	1
Босна и Херцеговина	1
Чешка Република	1
Португал	1
Румунија	1
Јужна Кореја	1
Литванија	1

5. ЗАКЉУЧАК

Од свог настанка средином прошлог века па до данас, област операционих истраживања је утицала на развој различитих метода и пронашла примену у многим областима. Од почетних примена у војсци па до ефикасне примене у процесу одлучивања у пословању, операциона истраживања су директно утицала на развој неколико метода математичког програмирања. Један од главних циљева у овом раду је био да се мапирају кључни институционални актери у Србији који генеришу ново знање у овој области а које има међународну видљивост. Управо због међународног утицаја истраживања, у раду су анализирани радови објављени у последњих 20 година који су индексирани у библиографској бази Web of Science.

Резултати истраживања су показали да од 2005.г. постоји тренд раста објављених радова у овој области што је у позитивној корелацији са трендом који постоји и у другим областима наука. Просечна цитираност и вредност Х-индекс-а од 25, која говори да постоји 25 радова који имају минимум 25 цитата, указује на висок утицај радова који имају аутори из Србије. Најважније научноистраживачке институције у Србији са највећим бројем објављених научних радова у овој области су: Факултет организационих наука, Математички институт САНУ и Саобраћајни факултет Универзитета у Београду. Мрежна анализа ко-ауторства је показала да институционална сарадња у процесу писања истраживачких радова није на високом нивоу и да осим релативно добре сарадње истраживача са Математичког факултета и Математичког института САНУ, не постоји јача сарадња између других институција већ се истраживања изводе углавном у оквиру институције или у сарадњи са иностраним ауторима.

Укупно једна трећина радова је написана у ко-ауторству са иностранима ауторима а државе са којима се највише сарађује су Енглеска, Канада и САД.

Због ограничења броја страна, у раду није рађена детаљнија анализа мрежног дијаграма која подразумева рачунање вредности чворова у мрежном дијаграму кроз индикаторе централитета.

За даље истраживање било би интересантно израчунати и утицај који поједине институције имају на остале учеснике у мрежи, затим блискост између појединих институција тј. показатељ зависности једне институције од осталих актера. Поред претходних вредно је израчунати и степен значајности појединих институција у мрежној структури, тј. каква је функција институције у процесу преношења информација.

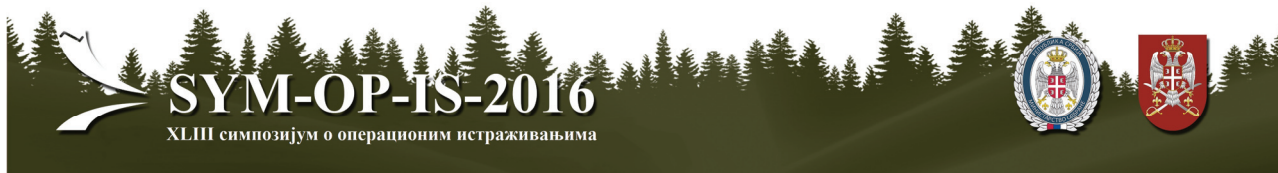
Један од важних налаза презентираних анализе јесте и даље значајна присутност публикованости радова из области операционих истраживања у референтним часописима. Известан пад броја радова у часописима индексираним у библиографској бази Web of Science који се уочава после 2013.г. може се објаснити више као последица система финансирања НИ рада у Србији него евентуалним опадањем интереса истраживача за ову НИ област. Велики пораст броја радова у периоду 2011-2013. година указује на потенцијал, заинтересованост и актуелност истраживачких тема, што је показатељ даље значајности области операционих истраживања за НИ систем Србије.

ЗАХВАЛНОСТ

У раду су саопштени резултати истраживања на пројекту: „Истраживање и развој платформе за научну подршку у одлучивању и управљању научним и технолошким развојем у Србији, који финансира Министарство просвете и науке у периоду 2011-2016

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Живковић, Л., Штрбац, Д., Бабић, Д., и Ђ. Кутлача, *Анализа научне продуктивности Србије према научним областима*, XXXIX Симпозијум о операционим истраживањима-SYM-OP-IS, Зборник радова, (2012) 289-293
- [2] Штрбац, Д., Живковић, Л., Кутлача, Ђ. и Д. Бабић, *Продуктивност српских научника од 2005-2010. године*, XXXIX Симпозијум о операционим истраживањима- SYM-OP-IS, Зборник радова, (2012) 285-289.
- [3] Кутлача, Ђ., Бабић, Д., Живковић, Л. и Д. Штрбац, *Analysis of quantitative and qualitative indicators of SEE countries scientific output*, Scientometrics, 102(1), (2015) 247-265
- [4] Кутлача, Ђ., *Science and technology system in Serbia: Between survival and restructuring*, Proceedings of the international conference and high level round table, Љубљана, (2006), 131-139.
- [5] С. Бондер, *Feature Article—Changing the Future of Operations Research*, Operations Research 27(2), (1979) 209-224.
- [6] Ђирковић, Д., Мучибабић, С., Паројчић С., Келеменис, К. и И. Јуришић, *Историја операционих истраживања у области одбране код српског народа*, XXXIX Симпозијум о операционим истраживањима- SYM-OP-IS, Зборник радова, (2012) 497-500.
- [7] Д. Теодоровић, *Операциона истраживања у саобраћају мој поглед*, XXXX Симпозијум о операционим истраживањима- SYM-OP-IS, Зборник радова, (2013) 363-368.



РЕШАВАЊЕ ТЕХНИЧКИХ ПРОБЛЕМА ПРИМЕНОМ ТЕОРИЈЕ РЕШАВАЊА ИНВЕНТИВНИХ ЗАДАТАКА

SOLVING TECHNICAL PROBLEMS BY APPLYING THE THEORY OF INVENTIVE TASK SOLVING

ОБРАД ЧАБАРКАПА

Факултет за примењени менаџмент, економију и финансије у Београду, Универзитет Привредна академија у
Новом Саду, Београд, obrad.cabarkapa@gmail.com

ДУШАН РАЈИЋ

Иновациони центар Технолошко - металуршког факултета, Универзитет у Београду, Београд,
rajic.dusan1@gmail.com

Резиме: Теорија решавања инвентивних задатака (TRIZ) је једна од најповољнијих научно - иновационих методологија за решавање проблема у области технике, која почиње на систематичном и логичком приступу развијеном на основу студиозног истраживања великог броја патената. У раду је приказана примена TRIZ методологије на примеру аутомобила цистерне за деконтаминацију као конкретног средства војне технике на коме је идентификован један од техничких проблема. Наменом употребом аутомобила цистерне за деконтаминацију идентификована је штетна функција која се односи на припремање раствора за деконтаминацију у самом резервоару, чиме је онемогућен дотур воде за пиће. Функција којом се решава технички проблем, односно уводи нова корисна функција којом се проширује употреба цистерне и за потребе доставе питке воде, остварена је коришћењем ефикасних алата TRIZ методологије.

Кључне речи: ТРИЗ методологија, штетна функција, техничка противречност, матрица противречности, инвентивни принципи.

Abstract: Theory of Inventive Task Solving (TRIZ) is one of the most appropriate scientific and innovative methodologies for solving problems in technical field, based on systematic and logical approaches. This paper shows how TRIZ methodology can be applied in an example of a contamination car tank (as a specific means of military engineering) on which one technical problem was being identified. By intentional use of the car tank in decontamination, a detrimental function was discovered - and it related to preparation of decontamination solution in the reservoir itself, by which the drinking water supply was disabled consequently. TRIZ methodology tools have enabled a function which solves the technical problem, i.e. introduced a new function which expands the use of the tank and enables the drinking water supply.

Key words: TRIZ methodology, detrimental function, technical contradiction, contradiction matrix, inventive principles

1. УВОД

Аутомобил цистерна за деконтаминацију М-78 (АЦД М-78) је специјално моторно возило са основном наменом за радиолошку, хемијску и биолошку деконтаминацију људства и техничких средстава. Поред ове намене може се користити за хигијенско купање људства, гашење пожара, дотура техничке воде, испумпавање воде из поплавлених подручја, хлорисање земљишта, итд. Цистерну опслужује одређен број лица – послуга, како би могла да се користи за извршавање корисних функција. Да би послуга могла успешно да извршава све наменске задатке, цистерна је опремљена додатним уређајима, приборима и прикључним уређајима за деконтаминацију, помоћу којих се врши завршна и потпуна радиолошка, хемијска и биолошка

деконтаминација људства и техничких средстава са могућношћу радиолошке деконтаминације земљишта и објеката и гашење пожара. Једна од мисија Војске Србије (трећа по реду) је подршка у случају природних непогода и катастрофа. Управо у претходном периоду, јединице Војске Србије биле су ангажоване на великом броју задатака из треће мисије. Као један од основних и приоритетних задатака приликом ангажовања у овој мисији, постављен је задатак дотура воде за пиће цивилном становништву¹. Управо са овим за-

¹ Краљево после земљотреса 2010. године. Ужице као последица загађења акумулационог језера Врутци. Обреновци, Трстеник, Свилајнац и многа друга места после поплава које су задесиле Републику Србију у мају 2014. године.

датком уочен је недостатак довољно потребног броја наменских цистерни за воду како би се обезбедиле потребне количине воде у оваквим ситуацијама. Са овим је идентификован технички проблем при употреби АЦД М-78, зато што се вода из резервоара ове цистерне искључиво користи у техничке сврхе (купање, прање посуђа, одеће...). Као основни разлог овакве намене је што се раствор материје за деконтаминацију - МДк² припрема у самом резервоару цистерне. У оваквој ситуацији, суочени са овим проблемом, поставило се питање могућности употребе АЦД М-78 за дотур воде за пиће а не само техничке воде, као што је то био случај до сада.

Циљ рада је да се применом матрице противречности и инвентивних принципа као ефикасних алата Теорије Решавања Инвентивних Задатака (ТРИЗ) реши уочени технички проблем.

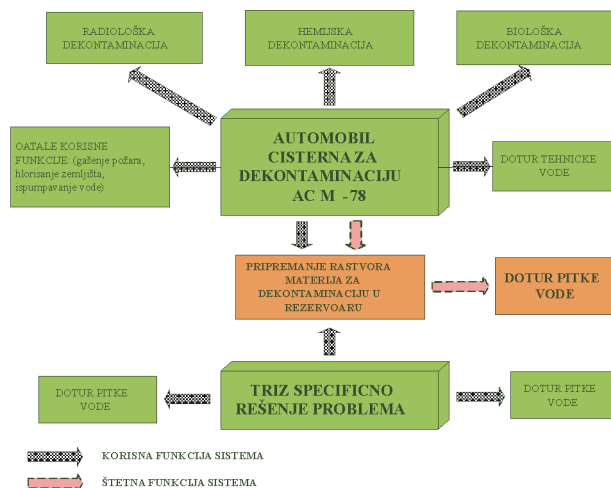
2. ШТЕТНА ФУНКЦИЈА ЦИСТЕРНЕ ЗА ДЕКОНТАМИНАЦИЈУ

Аутомобил цистерна за деконтаминацију посматра се као технички систем (ТС), у коме је идентификована штетна функција (технички проблем) који се односи на *припремање раствора материја за деконтаминацију у резервоару*, чиме је онемогућен дотур воде за пиће. Разрешењем овог проблема, омогућила би се још једна корисна функција цистерне, чиме би се повећала оперативна способност наменских јединица и допринело успешном решавању задатака у случају природних катастрофа и елементарних непогода.

Применом научно иновационе методологије - ТРИЗ, могуће је разрешити постојећи технички проблем на цистерни као разматраном техничком систему, односно доћи до решења како да се елиминира штетна функција. Инвентивни принципи и Матрица противречности показали су се у пракси као најчешће коришћени ТРИЗ алати за решавање постојећих техничких проблема [1,2,3].

Графички приказ корисних и штетних функција АЦД М-78, дат је на слици 1.

Са утврђивањем штетне функције поставило се проблемско питање: Шта урадити да би се цистерна, поред своје основне намене, могла користити и за дотур питке воде?



Слика 1: Графички приказ корисних и штетних функција АЦД М-78

Решавањем овог проблема успоставила би се још једна корисна функција цистерне, чиме би се она технички унапредила са могућношћу дотура питке воде, са крајњим циљем повећавања степена ефикасности наменских јединица у извршавању постављених задатака у ванредним ситуацијама.

Применом инвентивних принципа и матрице противречности као основних алата ТРИЗ методологије, могуће је разрешити уочени технички проблем.

3. ГЛАВНИ АЛАТИ ТРИЗ МЕТОДОЛОГИЈЕ

Теорије решавања инвентивних задатака – ТРИЗ³ заснива на аксиому: „да се еволуција свих техничких система одвија по објективним законима. Примена ТРИЗ методологије је саставни део креативног размишљања (креатологије), која треба да буде основна алатка на путу између проблема и његовог решења. У ТРИЗ методологији као „главне алатке“, користе се инвентивни принципи⁴ и матрица противречности. Помоћу инвентивних принципа се решавају техничке противречности⁵ док матрица противречности даје могућност избора најефикаснијег инвентивног принципа, који треба применити да би проблем који се разматра био решен. За опис сваког техничког система постоје одређени параметри - карактеристике⁶, који су

³ ТРИЗ као метод решавања техничких противречности дело је научника и проналазача Хенриха Сауловича Алтшулера (15.10.1926.-24.09.1998). Теорија решавања инвентивних задатака представља методологију решавања проблема систематичним и логичним приступом.

⁴ Утврђено је укупно 40 инвентивних принципа. Неки од њих су: сегментација, екстракција, локални квалитет, асиметрија, универзалност, консолидација, итд.

⁵ Противречност је проблем који се јавља унутар подсистема сложеног техничког система (аутомобила, авиона, дизајна итд) као последица побољшања појединих параметара сложеног техничког система. Нпр. потребно је смањити тежину аутомобила заменом материјала за каросерију савременим материјалима а да се при томе не нарушава безбедност путника.

⁶ Неки од њих су: сила, напон, притисак, поузданост, маса покретног објекта, адаптивност, комплексност, уређаја итд.

² Материје за деконтаминацију су хемијска једињења или смеше, које имају особину да реагују са отровним хемијским супстанцама (ОХС), да их разграђују или неутралишу, да уништавају биолошке агенсе или да помажу одстрањивању РХБ контаминаната. Као материје за деконтаминацију најчешће се користе капорит и натријум хипоклорит.

садржани у матрици противречности димензија 39X39 [2,3].

У левој колони ове матрице, налазе се карактеристике које се желе побољшати а у првом реду матрице су карактеристике које се погоршавају као последица карактеристике која се побољшава. У матрици противречности у пресеку утврђених карактеристика, налазе се одређени бројеви који се односе на редни број инвентивног принципа који се предлаже за примену ради решавања техничке противречности. Сваки од понуђених принципа предлаже предузимање одређених активности ради могућег разрешења описаног проблема који се налази у техничкој контрадикцији. Анализом понуђених активности долази се до закључка што предузети да би разрешили разматрани проблем [2,3].

4. РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА ПРИМЕНОМ МАТРИЦЕ ПРОТИВРЕЧНОСТИ

За тачно утврђивање техничке противречности користи се образац за формулисање техничке противречности [2].

Уз помоћ обрасца за формулисање техничке противречности утврђена је карактеристика која се жели побољшати а то је карактеристика која најприближније описује проблем. Та карактеристика је „штетни унутрашњи фактори објекта“, која се налази на редном броју 31 у првој колони матрице противречности. Дакле, да би разрешили технички проблем припреме материје за раствор у самом резервоару цистерне потребно је елиминисати ову карактеристику. Затим се одређују карактеристике које ће се погоршати (налазе се у првом реду матрице противречности) као последица елиминисања штетних унутрашњих фактора објекта.

Табела 1: Приказ коришћења матрице противречности

КАРАКТЕИСТИКЕ		КОЈЕ СЕ ПОГОРШАВАЈУ			INVENTIVNI PRINCIPI
		1,2,3.....19.....39	27	36	
КОЈЕ СЕ ПОБОЉШАВАЈУ	1,2,3,4,5,6,7,8,19,36,37,38,39	2 - МАСА СТАЦИОНАРНОГ ОБЈЕКТА	27 - ПОУЗДАН ОСТ	36 - КОМПЛЕКСНОСТ НОСТ УРЕЂАЈА	1 - Локални (1 - Segmentacija; 2 - Ekstrakcija; 3 - Lokalni kvalitet; 4 - Asimetrija; 5 - Konsolidacija; 6 - Univerzalnost; itd.)
		31 - ШТЕТНИ УНУТРАШЊИ ФАКТОРИ ОБЈЕКТА	24, 2, 40, 39	19, 1, 31	
		35, 22, 1, 39, 35 - Promena fizičko-hemijskih parametara objekta	24, 2, 40, 39, 24	19, 1, 31, 19	
		22 - Pretvaranje štete u korist 1-Segmentacija 39 - Promena stepena inertnosti	2 - Ekstrakcija 40 - Kompozitni materijali 39 - Promena stepena inertnosti	Periodično delovanje 1 - Segmentacija 31- Porozni materijali	

Идентификоване су следеће карактеристике које ће се погоршати: **2** – „маса стационарног објекта“, **27** – „поузданост“ и **36** – „комплексност уређаја“. Шематски приказ употребе матрице контрадикторности за описане карактеристике дат је у табели 1.

У пресеку реда (31 - карактеристика која се побољшава) и колоне (2, 27 и 36 - карактеристика које се погоршавају) налазе се редни бројеви инвентивних принципа које треба размотрити при решавању

техничке противречности. Понуђени називи принципа су дати у табели. Детаљном анализом понуђених принципа и активности које они предлажу, као најпогоднији за описан случај, показали су се принципи под бројем 1 – „Сегментација“ и 24 – „Посредник“.

Принцип „Сегментација“, предлаже предузимање следећих активности:

1А – Поделити објекат на независне делове;

1Б – Учинити објекат модуларним (због лакше монтаже или демонтаже) и

1Ц – Повећати степен фрагментације (издробљености) објекта.

Принцип „Посредник“, предлаже предузимање следећих активности:

24А – Користити посредни предмет или посредни процес и

24Б – Утопити један објекат у други (који би могао да буде подеснији за ношење).

Детаљнијом анализом понуђених активности долази се до решења техничког проблема где је потребно увести додатни уређај са којим би се решио проблем да се раствор материје за деконтаминацију не прави у резервоару, а да се може и даље успешно вршити деконтаминација.

Закључак води решењу да се направи уређај ван резервоара, који би у свом резервоару имао одређену количину материје за деконтаминацију. Из овог уређаја би се кроз одговарајући вентил пропуштала одређена количина материје за деконтаминацију која би се мешала са водом из резервоара цистерне чиме би се правио раствор жељене концентрације ван резервоара. Изглед овог уређаја као и регулисање његовог рада би представљало иновационо решење овог проблема.

Уградња предложеног уређаја као и успостављање додатног инсталационог (цевног) система од уређаја и од резервоара са потребним аутоматским регулационим вентилима захтева инжењерски приступ и иновационо решење. Да би се успоставила нова корисна функција АЦД М-78 тј. дотур питке воде, потребно је постојећи резервоар у коме се припремао раствор добро припремити (опрати и дезинфиковати) као би се могао користити за транспорт питке воде.

5. ЗАКЉУЧАК

Употребом аутомобила цистерне за деконтаминацију М – 78, утврђен је технички проблем - штетна функција система - немогућности дотура воде за пиће. Основни разлог штетне функције је припрема раствора материје за деконтаминацију у самом резервоару цистерне.

Теорија решавања инвентивних задатака као метода савремене научно - иновационе креатологије је веома погодна за решавање проблема на сложеним техничким системима. Потребно је правилно формулисати техничку противречност, односно одредити техничке карактеристике система које се желе побољшати као и карактеристике које се услед тога погоршавају. На аутомобилу цистерни за деконтаминацију је утврђена карактеристика која се побољшава (штетни унутрашњи фактори објекта) као и карактеристике које се погоршавају (маса стационарног објекта, поузданост и комплексност уређаја), као последица карактеристике која се побољшава. Применом основних алата ТРИЗ методологије, инвентивних принципа и матрице противречности пронађено је решење да се раствор прави ван резервоара уз помоћ додатног уређаја у коме би се налазила материја за деконтаминацију и који би се иновирао и прилагодио за ове потребе.

Примена ТРИЗ методологије у решавању ученог техничког проблема, пружа могућност да се уз минимална финансијска улагања на цистерни, предузму одређени иновациони захвати, како би се могао вршити дотур питке воде.

ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је настао уз финансијску подршку Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта TR34034.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rajić, D., Žakula, B. i Jovanović, V., *Uvod u TRIZ ili kako postati kreativan u tehnicima*, Beograd, 2006, SIG, www.triz-journal.com – Part of the Real Innovation Network, Accessed on: 2016-05-11
- [2] Rajić, D., Kamberović, Ž. i Žakula, B., *Kreativni inženjering*, ICTMF, Beograd, 2016.
- [3] O. Čabarkapa, *Zaštita poverljivih inovacija*, 2010, VIZ – Redakcija „Vojna knjiga”, Beograd.
- [4] V. Miltenović, N. Dučić, R. Slavković, S. Radonjić, N. Bošković, *Increase of the operating life of a mould during the casting process of flotation balls with the aid of triz method*, 2012, Facta Universitatis, Series Mechanical Engineering, Vol. 10, N 1, pp. 31-40.
- [5] G. Altschuller, *Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme*, 1995, Verlag Technik Berlin.
- [6] www.triz40.com, Interactive Triz Matrix&40 Principles, Accessed on: 2016-04-25

ИСТРАЖИВАЊЕ ПОДАТАКА



PREDICTING STUDENTS' ENROLLMENT SUCCESS ON FACULTY - EDUCATIONAL DATA MINING APPROACH

SONJA ISLJAMOVIC

Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, sonjaislamovic@gmail.com

SRĐAN LALIĆ

Statistical Office of the Republic of Serbia, Belgrade, srdjan.lalic@stat.gov.rs

Abstract: *Applying data mining on data gathered from educational environments is a new, growing research area also known as educational data mining. It is focused on developing models and methods for exploring data collected from educational environments and it considers different aspects of education: students, teachers, teaching materials, organization of classes in order to better understand and improve educational process. In this paper we use different data mining algorithms based on artificial neural network in order to find the best suited model for prediction of students' enrollment success on faculty. These models are generated and evaluated on students' personal and high school data from Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade. Artificial neural networks models are applied on students' aforementioned data to generate the model, which can be used to predict the students' enrollment status and entrance exam points. Furthermore, several attribute selection techniques are applied in order to identify which attributes contribute the most to prediction of students' enrollment on faculty performance.*

Keywords: *educational data mining, artificial neural networks, university education.*

1. INTRODUCTION

Contemporary concepts of education in the 21st century, with usage of modern technological resources and teaching aids, as well as the adjustment of teaching content to students require from us to detect, define and analyze existing patterns of behavior and students' learning. Data mining in the field of education (Educational Data Mining - EDM), as a field of research, has developed in the last decade as a special area of application techniques and tools for detecting regularities and correlations in the data (data mining), with the aim of analyzing the unique data types that appear in educational system for solving various problems of educational and instructional improvement process [1, 2]. EDM is engaged in development, research and application of methods to detect regularities in the data in the database in the field of education, which would otherwise be difficult or almost impossible to analyze and to determine the dependency patterns of behavior and learning among students, primarily because of the large amount of data [3, 4, 5]. Predicting student performance, one of the tasks in educational data mining, has been taken into account recently [6, 7, 8, 9].

The main objective in this research is prediction of students' enrollment success to university based on students' personal and high school data. In this research, the classification task is used to predict student's enrollment status and prediction task to estimate students' entrance exam points. Presently, in Serbian university education system, there exist two basic enrolment statuses: the status of budget financing and self-financing

status. We developed Artificial Neural Networks models in order to predict the students' enrollment status and entrance exam points and tried to identify which factors affect the most students' enrollment success using attribute selection techniques such as forward selection, backward elimination and genetic algorithm. Data were collected from the graduate students of Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade.

2. BACKGROUND AND RELATED WORKS OF EDUCATIONAL DATA MINING

In a general sense, EDM represents a research and scientific term that focuses on the different types of data, collected within educational institutions because academic data requires specific exploring and exploitation which are related to higher-education institutional effectiveness and student success issues, in way of defining suggestion for further education development [10]. Researches in this area have a focus on different aspects of the educational process: students, teachers, teaching materials, organization of teaching courses and so on [1, 5]. EDM analyzes data from different types of information systems to support learning or education at colleges, universities and other academic or professional educational institutions that provide both traditional and modern forms and methods of teaching as well as non-formal learning [1]. Because of its potential benefits, welfare and usefulness for universities, faculties, teachers and students, data mining in higher education represents a recent research area with high popularity and large

number of performed case studies and published papers [100, 11, 122, 133, 144].

3. METHODOLOGY

This paper proposes the use data mining approach to improve prediction of entrance exam points or students' enrollment status, using personal and high school data. CRISP-DM methodology, as generally knowledge discovery approach, which is used in this paper, was applied through five steps to the student data in order to predict their enrollment status or entrance exam points.

Problem definition: In this research the problem is to predict students' entrance exam points and enrollment status. As well to identify key factors which influence students' enrollment to faculty.

Data preparation: In this research it consists of:

- **Instance selection:** Data for this research was collected from graduate students of Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, from five generations (records of 7280 students, enrolled from 2005/06 to 2014/15 school year).
- **Attribute selection:** Students personal and high school data are selected for all students. Selected attributes are explained in Table 1.
- **Data transformation.** In this research max-min normalization is applied, which means that all values are transformed into [0, 1] interval, in the sense that the lowest value will have value zero, and the highest value will have value one. Nominal (binominal and polynomial) variables are transformed to numerical with dummy coding, which means that one variable is transformed into two, in case of binominal, or more, in case of polynomial, variables with values zero, when student does not satisfy condition, and one, when student satisfy condition.

Table 1 : Variables used in this research

Description	Possible values
Gender of student	Female or Male
Student high school grade average	From 2 to 5
Type of high school	gymnasium, technical, electro-technical, economy school, mechanical school, other secondary school
Class of high school	private high school, public high school
Region of high school	Abroad, Belgrade, Vojvodina, south and east Serbia, Kosovo and Metohija, Šumadija and west Serbia
Student status	Budget-financing or self-financing
Entrance exam points	From 1 to 100

Modeling: In the first part of study we will work on predicting students' enrollment status to faculty, so based on that fact, this is a classification problem. The second part of the study is focused on predicting students' success in entrance exam studying process in the form of points achieved in an entrance exam test, which represents a prediction problem, and in the second part of research different Artificial Neural Network prediction algorithms are applied. Artificial Neural Network (ANN) represents an information processing method that resembles living neural network, with the abilities of memory, learning, screening noises and debugging. In

addition to the function of high speed computation, neural network can solve many complex problems such as classification or prediction [15]. ANNs have been extensively used in many disciplines to model complex real-world problems [16]. ANNs have some advantages over traditional statistical methods [17], such as ability to work with non-structured and missing input data, parallel data processing and ability to learn [18]. ANN consists of input and output layers and one or more hidden layers. Each input corresponds to an attribute (an input parameter), while an output of the network represents the solution of a problem.

Evaluation: In order to prevent overfitting dataset is divided to two disjoint sets, one for model training, and the other for testing the model. In this research 10 fold cross validation is used. For classification problem, in order to define correct enrollment status, two performance measures are used. Those are accuracy and area under the curve. Accuracy presents a proportion of true results and whole dataset. Area under the curve (AUC) is a type of receiver operating characteristic (ROC) curve which is used typically to see probability that a classifier will rank a randomly chosen positive instance higher than a randomly chosen negative one. When a classifier is unable to distinguish between two classes, the AUC will be closer to 0.5. In the second part, for prediction of entrance exam points, another metric issue is used for evaluating performance of model. There are many metrics which deals with different DM tasks. For prediction, the most common performance metrics are root mean square error (RMSE) and absolute error (AE). RMSE (formula 1) and AE (formula 2) are ways to quantify the difference between predicted (estimated) values and the true values that are being estimated. RMSE measures the square root of average of the squares of the errors, while AE measures absolute value of error [13].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (1)$$

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (2)$$

Deployment: Once model is built and evaluated it can be used for decision making. In this research student's enrollment status and entrance exam points can be predicted and strategy for improvement of student standard can be applied based on variables that influence the most on students' enrollment success.

4. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

In the first part of experiment, for Enrollment status prediction, after applying ANN on students' dataset with classical approach we had developed more than 40 models. The best result indicate that in more than 75.568% percentage cases, developed system will give an adequate prediction and that about 81.894% of cases satisfy AUC criteria. Developed ANN model is based on 2 hidden layers with 8 and 3 neurons. After that, we created the same models, but with features selected on the

basis of forward selection, backward elimination and genetic algorithm, in order to identify factors that influence the most on enrolment status prediction performance, Table 2. As the most important factors that influence on student's enrollment status single out: High school grade average, Region of high school and Type of high school, while students' gender and Class private/public high school have lower impact.

Table 2: Students' enrollment status prediction

Algorithm	Accuracy	AUC
Forward elimination	73.864 %	0.80099
Backward elimination	73.295 %	0.80376
Genetic algorithm	75.041%	0.80819

In the second part of the research in the process of prediction, after applying ANN on students' dataset with classical approach, the best result for prediction of entrance exam points had RMSE=0.4225 and AE=0.3651, which can be interpreted that an average deviation from actual final grade was 0.3651. Since second part of this research is to identify factors that influence the most on entrance exam points, it is necessary to extract the most important variables, that is variables which would not downgrade performance of algorithm (it can even improve performance), from data. After execution of the experiment with Forward elimination, Backward elimination and Genetic algorithm, results indicate that best performance can be achieved with Genetic algorithm, which is based on one hidden layer with 7 neurons, Table 3.

Table 6: Errors of prediction of students' entrance exam points

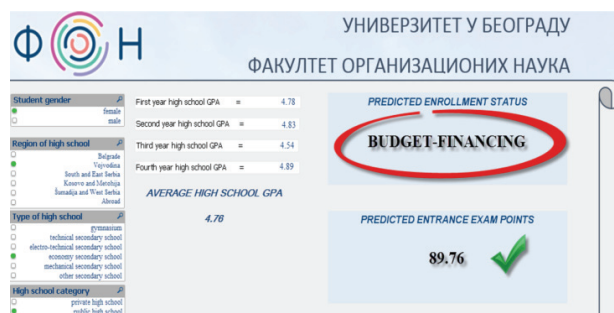
Algorithm	RMSE	AE
Forward elimination	0.4183	0.3592
Backward elimination	0.4136	0.3545
Genetic algorithm	0.4118	0.3528

Comparing results for all three different attribute selections we can figure out that genetic algorithm gave the best results (the smallest error in prediction process), but it is also important to underline that process of prediction which implies genetic algorithm requires the largest process time. The attribute selected shows that gender is not important, nor if student finished gymnasium or other high school nor if student comes from abroad or Kosovo and Metohija region. In other words, the most important factors that influence students' entrance exam points are High school grade average, whether student comes from Belgrade, Vojvodina, south and east Serbia or from Šumadija and west Serbia, and whether student finished technical, electro-technical, economics school or mechanical school.

5. POSSIBLE IMPLEMENTATION OF PREDICTION STUDENT ENROLLMENT STATUS

After determining and developing previously described models for prediction of student enrollment success at the faculty, the achieved results will be used in application that would be available to high school students in order to

predict their possible enrollment status and entrance exam points. Each high school student would be able to choose appropriate data regarding student gender, region, type and class of high school. After that, high school student will have to enter the high school average grade for each school year and based on four average grades, the total Student high school grade average will be calculated. Based on all entered information by student, using results of prediction, the system will suggest to high school student the most expected enrollment status or predict entrance exam points. Possible graphical user interface is presented in the following figure.



Picture 1: Possible user interface for prediction of faculty enrollment success

On the other hand, the same system for predicting student enrollment status and entrance exam points could be very beneficial and useful for faculty management staff, which will have an opportunity to define groups of high school students who are more likely to enroll at the faculty in SF status and to suggest to them adequate preparatory classes.

6. CONCLUSION

In this paper, in order to better organize collected data and information about the students and their success in the process of enrollment at faculty, the results of possible prediction of faculty enrollment status and entrance exam points were presented by using DM techniques. A goal of this research was to build a model in order to predict students' entrance exam points and enrollment status at the Faculty of Organizational Sciences based on students' personal information and their success in secondary school. Specifically, algorithms of Artificial Neural Networks were used in the order of those predictions. In this paper we proposed a novel approach to forecasting student enrolment status as one of indicators of students' performance. The proposed approach can be used not only for predicting student enrolment status or entrance exam points, but also for recommending university and secondary schools to prospective students and which personal students characteristic should be taken into account in the process of enrolment status prediction.

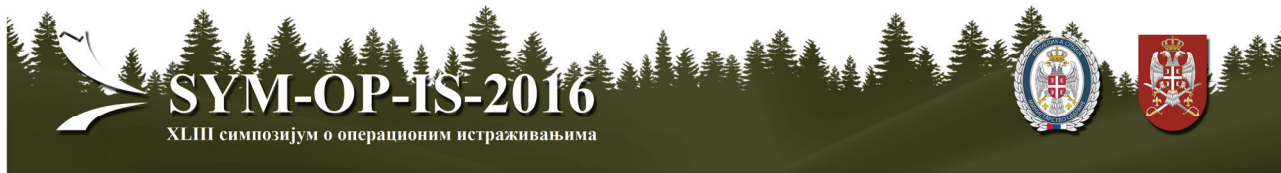
In the process of prediction the enrollment status, the best performance with more than 75% of accuracy was achieved. High school grade average, Region of high school and Type of high school can be identified as the most important factors that influence on students' enrollment status, while students' gender and Class private/public high school had lower impact. During the

second part of this research algorithms of ANN were used in order to predict possible students' entrance exam points, where two different performance measures were used: root mean square error (RMSE) and absolute error (AE), where developed ANN gave accuracy more than 70%. The next step in the research paper consists of usage of attribute selection algorithm in order to identify factors which influence the most prediction of entrance exam points. Three attribute selection techniques were used and those are forward selection, backward elimination and genetic algorithm. After performing experiments it can be concluded that the best results in predicting students' entrance exam points are achieved with ANN model when genetic algorithm is applied. Performing that model, we will be able to predict student entrance exam points with $AE = 0.3528$ and $RMSE = 0.4118$. Also as a result of our research we can conclude that personal data does not influence on entrance exam points. On the other hand high school data are considered important.

For further research, an optimization of algorithm parameters can be used and instead of attribute selection, attribute weighting can be used. In this way, weight of each factor can be measured, which will bring more useful information to the decision maker. Future developments and research, will firstly in terms of advanced use of the EDM concepts, include integration of a large number of input variables, such as those that are directly related to studies and socio-economic and demographic indicators and their comparative analysis. Secondly, they will include integration in the way of model development for predicting faculty enrollment success based on variables that were analyzed in this work.

REFERENCE

- Romero, C., & Ventura, S. "Educational data mining: A survey from 1995 to 2005," *Expert Systems with Applications*, 33(1), 2007. pp. 135-146. doi:10.1016/j.eswa.2006.04.005
- Romero, C., & Ventura, S. "Data mining in education," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 3(1), pp. 12-27, 2013. doi:10.1002/widm.1075
- Romero, C., Espejo, P. G., Zafra, A., Romero, J. R., & Ventura, S. "Web usage mining for predicting final marks of students that use Moodle courses," *Computer Applications in Engineering Education*, 21(1), pp. 135-146, 2010. doi:10.1002/cae.20456
- Romero, C., López, M.-I., Luna, J.-M., & Ventura, S. "Predicting students' final performance from participation in on-line discussion forums," *Computers & Education*, 68, pp. 458-472, 2013.
- Kumar, V., Chadha, A. "An Empirical Study of the Applications of Data Mining Techniques in Higher Education", *International Journal of Advanced Computer Science and Application*, 2(3), pp. 80-84, 2011.
- Yu, H.-F., Lo, H.-Y., Lin, C.-J. "Feature engineering and classifier ensemble for kdd cup 2010," *KDD Cup 2010: Improving Cognitive Models with Educational Data Mining*, 2010.
- Cetintas, S., Si, L., Xin, Y., and Hord, C. "Predicting correctness of problem solving in its with a temporal collaborative filtering approach," *In International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. pp. 15-24, 2010.
- Thai-Nghe, N., Drumond, L., Horvath, T., Krohn-Grimberghe, A., Nanopoulos, A., and Schmidt-Thieme, L. *Factorization techniques for predicting student performance*. In *Educational Recommender Systems and Technologies: Practices and Challenges* (In press), O. C. Santos and J. G. Boticario, Eds. IGI Global, 2011.
- Kim, H.T., An, J., Ahn, C.W. "A new evolutionary approach to recommender systems", *IEICE Transactions on Information and Systems*, Volume E97-D, Issue 3, pp. 622-625, 2014.
- Baker, R. S. J. D., & Yacef, K. "The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future Visions," *Review Literature And Arts Of The Americas*, 2009.
- Bringula, R. "Influence of faculty and web portal design-related factors on web portal usability: A hierarchical regression analysis," *Computer & Education*, 68, pp. 187-198, 2013.
- Zhou, S., Zhu, J., Zhang, N., Wang, B., Li, T., Lv, X., Pin Ng, T., Yu, X., Wang, H. "The Influence of Education on Chinese Version of Montreal Cognitive Assessment in Detecting Amnesic Mild Cognitive Impairment among Older People in a Beijing Rural Community," *The Scientific World Journal*, Volume 2014, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/689456>
- Dong Wang, Xiao-Hui Xing, and Xian-Bo Wu, "Healthy Lifestyles of University Students in China and Influential Factors," *The Scientific World Journal*, Volume 2013, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/412950>
- Daniel T. L. Shek, Rachel C. F. Sun, Y. H. Chui, S. W. Lit, Walter W. Yuen, Yida Y. H. Chung, and S. W. Ngai. "Development and Evaluation of a Positive Youth Development Course for University Students in Hong Kong," *The Scientific World Journal*, Volume 2012, 2012, <http://dx.doi.org/10.1100/2012/263731>
- Hosmer, D. W.; Lemeshow, Stanley *Applied Logistic Regression* (3rd ed.). Wiley, 2013.
- Hornik, K. "Multilayer feedforward networks are universal approximators," *Neural Networks*, 2(5), pp. 359-366. 1989. doi:10.1016/0893-6080(89)90020-8
- Garson, G. D. *Neural Networks: An Introductory Guide for Social Scientists*. SAGE Publications Ltd., 1998.
- Vapnik, V. *Estimation of Dependences Based on Empirical Data*. New York: Springer Verlag, 1982.



ДАТА МИНИНГ: ДЕТЕКЦИЈА ЕКСТРЕМНИХ ВРИЈЕДНОСТ И АУТЛАЈЕРА И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА ПЕРФОРМАНСЕ КЛАСИФИКАЦИЈЕ

DATA MINING: OUTLIERS AND EXTREME VALUES DETECTION AND THEIR IMPACT ON CLASSIFICATION PERFORMANCE

ОЛИВЕРА ЈАНКОВИЋ

ОРАО а.д. Бијељина, РС, БиХ, olivera.jankovic@orao.aero

Резиме: *Екстремне вриједности података и аутлајери, без обзира на разлоге и узроке њиховог појављивања, су фактори који поред осталог могу имати одређен утицај на резултате процеса дата мининга, а проналажење истих представља важан аспект дата мининга. У оквиру рада биће приказан један од начина детекције екстремних вриједности и аутлајера, на бази интерквartilног опсега IQR, и илустровано у којој мјери се огледа њихов утицај на перформансе класификационог процеса, поређењем одговарајућих резултата насталих примјеном J48 и SMO класификатора*

Кључне речи: *дата мининг, класификација, детекција аутлајера и екстремних вриједности,*

Abstract: *Extreme data values and outliers, regardless of the reasons and causes of their appearance are among other factors that may have some influence on the results of the data mining process, and finding them is an important aspect of data mining. In this paper it will be shown one way of detecting extreme values and outliers, using interquartile range IQR, and will be shown the extent to which reflected their impact on the performance of the classification process, comparing the corresponding results achieved using the J48 and SMO classifier.*

Keywords: *data mining, clasiffication, extreme values and outliers detection.*

1. УВОД

Процес анализирања података и проналажење корисних, сврсисходних образаца у постојећим подацима који нас окружују, подручје је екстезивно проучаване области истраживања, познате као дата мининг [1], а апликација образаца и у крајњем корисност се огледа и кроз могућност предикције на новим подацима. Сетови података који се користе као улаз у дата мининг важна су карика цјелокупног процеса, стога је уобичајена предобрада истих у циљу постизања бољих резултата. Екстремне вриједности података и аутлајери, без обзира на разлоге и узроке њиховог појављивања, су фактори који поред осталог могу да имају значајан утицај на резултате процеса дата мининга, а проналажење истих представља важан аспект дата мининга.

Аутлајери се често називају и абнормалности, неподежности, девијације или аномалије у литератури дата мининга и статистике. У већини апликација, подаци настају од стране једног или више генеришућих процеса, који могу или да одражавају активност у систему или запажања прикупљена око неког ентитета. У ситуацијама када се нпр. процес за генерисање понаша на необичан начин, то има за посљедицу стварање аутлајера. Стога, аутлајери често садрже и корисне информације о ненормалним карактеристикама систе-

ма и ентитета, које имају утицаја на процес генерисања података.

Базна форма детекције аутлајера је анализа екстремних вриједности једнодимензионалних података [2]. То су у бити веома специфичне врсте аутлајера, гдје се предпоставља да су вриједности које су или превелике или премале аутлајери, и могу бити значајне зависно од контекстуалне потребе одређене апликације.

Сама детекција аутлајера, односно методе за откривање истих, имају веома широка подручја примјене, као што су откривање превара кредитних картица, мрежни упади, клиничка испитивања, за потребе разних врста анализа (нпр. нерегуларно гласање, перформансе код спортиста,...), чишћење података и други задаци дата мининга.

Уз неопходан теоријски оквир, у раду ће у оквиру датих експерименталних поставки бити приказан један од начина детекције екстремних вриједности и аутлајера, на бази нтерквartilног опсега IQR, те показано у којој мјери се огледа њихов утицај на перформансе класификационог процеса, поређењем резултата примјеном J48 и SMO класификатора, у оквиру Weka софтверског алата за дата мининг.

2. ДАТА МИНИНГ

Процес примјене рачунарски базираних методологија за налажење образаца, својеврсног вида знања, из доступних, свеprisутних скупова података, који се захваљујући убрзаном развоју информационо комуникационих технологија, у значајној мјери увећавају, следи за подручје области дата мининга.

За потребе систематског спровођења процеса дата мининга, користи се и један од стандардних индустријских процеса CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*), модел од шест фаза замишљених као цикличан процес, кога у основи чине следећи, уобичајени кораци:

- ♣ Разумјевање проблема
- ♣ Разумјевање података
- ♣ Припрема података
- ♣ Моделирање
- ♣ Евалуација
- ♣ Употреба

У бити, сам модел није строг и крут, при чему да би примјена била успјешна, дата мининг треба посматрати као процес, а не као скуп алата и техника. У самом процесу дата мининга изражена је потреба да се експериментише са разним алгоритмима учења [3],[4] чему у прилог иде и расположивост већег броја разних класификатора.

Један од основних предиктивних задатака дата мининга је проблем класификације, који у основи представља врсту пресликавања података у претходно дефинисан скуп класа, односно проналажење везе између предиктора и циљане вриједности, кориштењем различитих класификационих алгоритама.

3. ДЕТЕКЦИЈА АУТЛАЈЕРА И ЕКСТРЕМНИХ ВРИЈЕДНОСТИ

Детекција аутлајера [5] у ранијим временима била је у фокусу оних који су се бавили статистиком, а са напредком хардверских технологија за прикупљање података и софтверских технологија за организацију података, у најновијим достигнућима у овој области све више учествује и информатичари. Поред тога, питања као што су рачунарска ефикасност и интуитивне анализе података се генерално сматрају важнијим од стране рачунарских стручњака него математичка прецизност, при чему се наравно не негира њена неспорна важност.

Према [6] аутлајер се дефинише као опсервација (запажање) која у значајној мјери одступа од других опсервација тако да буди сумњу да је генерисана од стране различитих механизма док се према [7] аутлајер дефинише као опсервација у сету података која није у складу са остатком тог скупа података.

С друге стране, статистика екстремних вриједности се разликује од традиционалне дефиниције аутлајера која (Hawkins) дефинише такве објекте њиховом вјеро-

ватноћом генерисања, а не екстремима у њиховим вриједностима. Конфузије између детекције аутлајера и екстремних вриједности су честе. Аутлајери могу да укључе и опсервације максимума и/или минимума, међутим узорци максималних и минималних вриједности нису увијек аутлајери јер не морају увијек бити неуобичајено далеко од осталих опсервација.

Постоје различити поступци детекције аутлајера, једни су графички а други су моделом базирани. За проналажење аутлајера у подацима често се користи, интерквартилни опсег IQR (*interquartile range*), дескриптивна статистика корисна за разумјевање дистрибуције података. IQR је мјера варијабилности, на основу подјеле скупа података на квантили (квантили дијеле дистрибуцију на четири једнака дијела, сваки дио представља 25% дистрибуције, означавају се Q1, Q2, и Q3, респективно) и представља разлику између резултата који пада на 3. квантил и резултата који пада на 1. квантил.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА И РЕЗУЛТАТИ

У оквиру експерименталне поставке, кориштењем WEKA софтверског пакета, за потребу илустрације поступка детекције аутлајера и екстремних вриједности (примјеном *InterquartileRange* филтера на бази интерквартилног опсега) и њиховог утицаја на перформансе класификације, биће кориштени алгоритми J48 (базиран на познатом C4.5 алгоритму који генерише стабло одлучивања) и алгоритам вектора подршке SMO (имплементира SVM).

Кроз исходе експеримената биће показани резултати класификације над изворним сетовима података кориштењем поменутих класификатора и резултати примјеном истих на редуковане скупове података (насталих након детекције и уклањања инстанци које садрже екстремне вриједности и/или аутлајере), са циљем увида утицаја и поређења постигнутих резултата класификатора за новонастале скупове података у односу на изворне скупове података.

Улазни скупови података

Природа расположивих улазних скупова података у уској је спрези са моделом учења, стога је у циљу постизања најбољих резултата потребно примјенити модел учења који је најприкладнији за одређени проблем. Због своје природе сетови података који ће се користити у оквиру овог рада, могу се посматрати као регресиони али и, у случају овог рада, као класификациони проблем.

У раду су кориштена два јавно доступна сета података [8] који се односе на врсту црвеног и врсту бијелог вина (иначе португалско "Vinho Verde"). Поштујући приватност, у скуповима су дате физичко-хемијске (улази) и сензорске (излаз) варијабле (нпр. нема података о врстама грозња, бренду, продајној цијени,...).

No.	1: fixed_acidity Numeric	2: volatile_acidity Numeric	3: citric_acid Numeric	4: residual_sugar Numeric	5: chlorides Numeric	6: free_sulfur_dioxide Numeric	7: total_sulfur_dioxide Numeric	8: density Numeric	9: pH Numeric	10: sulphates Numeric	11: alcohol Numeric	12: quality Nominal
1	7.0	0.27	0.36	20.7	0.045	45.0	170.0	1.001	3.0	0.45	8.86	
2	6.3	0.3	0.34	1.6	0.049	14.0	132.0	0.994	3.3	0.49	9.56	
3	8.1	0.28	0.4	6.9	0.05	30.0	97.0	0.9951	3.26	0.44	10.16	
4	7.2	0.23	0.32	8.5	0.058	47.0	186.0	0.9956	3.19	0.4	9.96	
5	7.2	0.23	0.32	8.5	0.058	47.0	186.0	0.9956	3.19	0.4	9.96	
6	8.1	0.28	0.4	6.9	0.05	30.0	97.0	0.9951	3.26	0.44	10.16	
7	6.2	0.32	0.16	7.0	0.045	30.0	136.0	0.9949	3.18	0.47	9.66	
8	7.0	0.27	0.36	20.7	0.045	45.0	170.0	1.001	3.0	0.45	8.86	
9	6.3	0.3	0.34	1.6	0.049	14.0	132.0	0.994	3.3	0.49	9.56	
10	8.1	0.22	0.43	1.5	0.044	28.0	129.0	0.9938	3.22	0.45	11.06	
11	8.1	0.27	0.41	1.45	0.033	11.0	63.0	0.9908	2.99	0.56	12.05	
12	8.6	0.23	0.4	4.2	0.035	17.0	109.0	0.9947	3.14	0.53	9.75	
13	7.9	0.18	0.37	1.2	0.04	16.0	75.0	0.992	3.18	0.63	10.85	
14	6.6	0.16	0.4	1.5	0.044	48.0	143.0	0.9912	3.54	0.52	12.47	
15	8.3	0.42	0.62	19.25	0.04	41.0	172.0	1.0002	2.98	0.67	9.75	

Слика 1. Приказ изворних назива и типа свих улазних атрибута (укључујући атрибут класе) и дијела сета података црвено вино (првих 15 инстанци)

Табела 1: Карактеристични бројеви инстанци

	Број инстанци	Број аутлајера	Број екстремних вриједности	Број екстремних вриједности или аутлајера заједно
Сет бијело вино	4898	135	83	208
Сет црвено вино	1599	110	70	164

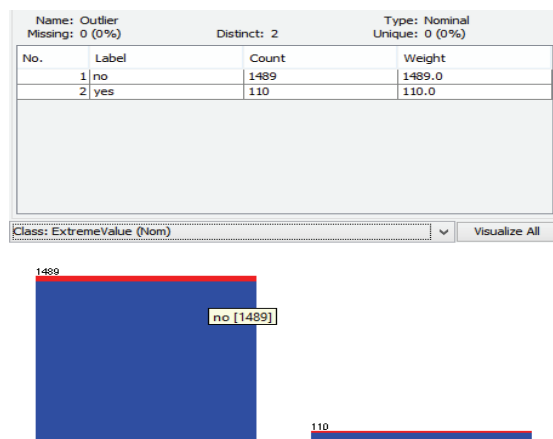
Табела 2: Експериментални резултати перформанси класификације J48 и SMO класификатора, прије и након детекције/елиминисања екстерних вриједности и/или аутлајера

	Црвено вино сет података (ЦВ)		Бијело вино сет података (БВ)	
	J48	SMO	J48	SMO
	Класификациона тачност (%)	Класификациона тачност (%)	Класификациона тачност (%)	Класификациона тачност (%)
Оригинални сет података	61.9762	58.3400	57.9624	52.0621
Сет података без аутлајера	63.0625	59.2344	60.2351	52.1100
Сет података без екстремних вриједности	60.9549	58.4042	58.7331	52.3364
Сет података без екс. вријед. и аутлајера	60.4181	58.676	60.6183	52.2175

Улазне варијабле за оба сета података (базиране на физичко-хемијским тестовима могу се видјети на Сл.1, при чему је наглашена (болдирана) излазна промјенљива која представља квалитет вина (у овом случају атрибут класе *quality*), базирана на сензорским опажањима и поприма вриједности од 1 до 10. Сетови података у оба случаја имају по 12 атрибута (укључујући атрибут класе) и немају недостајућих вриједности атрибута. Укупан број инстанци износи 4898 за сет БВ и 1599 за сет ЦВ (Табела 1).

Постигнути резултати

У Табели 1 дате су неке карактеристичне вриједности инстанци за сваки од коришћених сетова података, као што су укупан број инстанци, број инстанци детектован као аутлајер, број инстанци са екстремним вриједностима и укупан број инстанци са екстремним вриједностима или аутлајерима. На Сл. 2 дата је визуелизација односа аутлајера и екстремних вриједности за сет података који се односи на црно вино (нпр. од 110 аутлајера у сету података за црно вино њих 16 истовремено је означено и као екстремне вриједности, десни ступац на Сл.2).



Слика 2. Визуелизација односа аутлајера и екстремних вриједности на примјеру сета података који се односи на црно вино

Постигнути експериментални резултати поступка класификације, прије и након детекције и елиминисања аутлајера и/или екстремних вриједности, кориштењем J48 и SMO класификатора, дати су у Табели 2, гдје су приказане вриједности класификационе тачности изражене у процентима.

На основу добивених резултата (Табела 2), посматрано са аспекта класификатора (најбољи резултат за сваки од класификатора означен је црвено), сваки од класификатора, у оквиру наведене експерименталне поставке, имао је у мањој или већој мјери корист од елиминисања аутлајера и/или екстремних вриједности (изузетак су ситуације за J48 класификатор на сету за ЦВ, када су постигнути резултати након редукције, само у случају елиминисања аутлајера, били бољи у односу на оригинални скуп) при чему је највећи бенефит у свим поставкама постигао J48 класификатор остваривши највећи бенефит, класификациону тачност од 60.6183% на сету података за БВ, која представља уједно и најбољи постигнути резултат (резултат у односу на референтни резултат који се односи на класификациону тачност на оригиналном скупу података) посматрано у цјелости.

Посматрано са аспекта кориштених редукованих скупова за оба сета података у односу на оригиналне скупове података може се закључити да се елиминисање аутлајера одразило кроз повећање резултата класификационе тачности за све класификаторе (за оба сета података), при чему је највећу корист са тачношћу класификације од 60.2351%, имао J48 класификатор на сету за БВ.

Када је у питању ефекат детекције и елиминисања екстремних вриједности, на процес класификације у оквиру кориштених експерименталних поставки ситуација је нешто другачија. Један од класификатора је чак постигао нижу класификациону тачност (J48 на сету ЦВ) у односу на оригинални сет података у коме нису уклоњене инстанце са екстремним вриједностима, док су остали постигли већу класификациону тачност, при чему је и у овом случају највећу класификациону тачност (у односу на референтну), као и у ситуацији детекције и елиминисања аутлајера, постигао J48 класификатор на сету БВ (58.7331 %).

Резултати постигнути након елиминисања свих инстанци које су биле означене било као екстремне вриједности било као аутлајери у односу на оригиналне сетове података имају мање/више исту тенденцију понашања као у претходном случају када су уклоњене вриједности инстанци означене као екстремне вриједности, тако да је и у овом случају J48 класификатор на сету БВ постигао највећи бенефит, који истовремено представља и најбољи резултат - највећи бенефит на нивоу цјелокупне поставке, са постигнутом тачношћу класификације од 60.6183%.

5. ЗАКЉУЧАК

Сумаризацијом постигнутих резултата може се закључити да је у оквиру кориштених експерименталних поставки, посматрано у цјелости, детекција и истовремено елиминисање аутлајера и екстремних вриједности, у контексту перформанси класификације омогућила највећу добит, остварила највећу класификациону тачност у односу на полазни сет података (за сет БВ), у односу на поступке појединачног елиминисања екстремних вриједности и аутлајера, при чему је пак елиминисање аутлајера допринијело бољим резултатима за све класификаторе на оба скупа података.

Важно је, приликом детекције аутлајера, имати на уму да је сама процјена аутлајера често нивоа субјективне природе, стога је у контексту њихове семантичке природе за интерес аналитичара у пракси потребно познавати и користити повратне информације претходних примјера од интереса, уколико су исти доступни.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Witten, I.H., Frank E., *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Elsevier, 2011.
- [2] Aggarwal, C. C., *Outlier analysis*, IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, USA, 2013.
- [3] Janković, O., Машино учење: Evaluacija performansi klasifikatora u kontekstu ograničene raspoloživosti podacima, SYM-OP-IS 2014., str.232-237.
- [4] Janković, O., Primjena i evaluacija klasifikatora videlajnog perceptrona za potrebe klasifikacije linearno neseparabilnih problema, SYM-OP-IS 2015, str.208-211.
- [5] Ben-Gal I., "Outlier detection", In: Maimon O. and Rockach L. (Eds.) *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook: A Complete Guide for Practitioners and Researchers*, Kluwer Academic Publishers, 2005.
- [6] Hawkins. D., *Identification of Outliers*, Chapman and Hall, 1980
- [7] Johnson R., *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice Hall, 1992.
- [8] Cortez, P., Cerdeira, A., Almeida, F., Matos, T. i J Reis, "Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties", *In Decision Support Systems*, Elsevier, 47(4):547-553.



ДАТА МИНИНГ: ДЕТЕКЦИЈА АУТЛАЈЕРА У КОНТЕКСТУ СТРИМА ПОДАТАКА

DATA MINING: OUTLIER DETECTION IN THE CONTEXT OF DATA STREAM

ОЛИВЕРА ЈАНКОВИЋ

ОРАО а.д. Бијељина, РС, БиХ, olivera.jankovic@orao.aero

Резиме: Динамичка природа објеката стримова података један је од разлога који задатак дата мининга стримова података чини значајно изазовнијим у односу на уобичајене задатке дата мининга. У контексту наведеног јасно је да проналажење аутлајера, објеката који поједностављено посматрано представљају објекте који значајно одступају од осталих, такође дијели ниво поменутог изазова. У раду ће на примјеру синтетички генерисаног стрима података бити приказани поступци и постигнути резултати процеса детекције аутлајера кориштењем MСOD и ApproxSTORM алгоритама.

Кључне речи: дата мининг, стрим података, детекција аутлајера.

Abstract: The dynamic nature object of data stream is one of the reasons that the task of data stream mining makes significantly more challenging than conventional data mining task. In the context of the above it is clear that detection of outliers, objects that represent simplified observed objects that differ substantially from the others, also shared level of the aforementioned challenges. In this paper it will be presented methods and results that are achieved using the outliers detection with MСOD and ApproxSTORM algorithms on the synthetically generated stream of data.

Keywords: data mining, data stream, outlier detection.

1. УВОД

Проналажење образаца, својеврсног вида знања, из доступних, свеprisутних скупова података, који се захваљујући убрзаном развоју информационо комуникационих технологија, у значајној мјери континуирано увећавају, је задатак области истраживања података (*data mining*). У новије вријеме, у фокусу изазова дата мининга су стримови података, потенцијално неограничени токови података временски поредани, генерисани од стране различитих апликација као што су разне врсте онлајн трансакција или сензорских уређаја на примјер.

Један од базних проблема дата мининга свакако је и детекција аутлајера, објеката који поједностављено посматрано представљају објекте који значајно одступају од осталих. Како динамичка природа објеката стримова података сама по себи представља један од разлога који задатак дата мининга стримова података чини значајно изазовнијим у односу на уобичајене задатке дата мининга, то је јасно да је и проналажење аутлајера у контексту стримова података такође изазован задатак за истраживање.

У оквиру овога рада за детекцију аутлајера над синтетички генерисаном стриму података биће упоредно кориштена два - на удаљености базирана алгорита за детекцију аутлајера, алгорита MСOD (Micro-cluster-based Continuous Outlier Detection) и ApproxSTORM (Approximate data stream distance-based outlier detection

algorithm). Алгоритми су поређени над различитим величинама сетова података (1000, 5000, 10 000, 25 000, 50 000, 100 000 и 250 000) за вриједности кластера 5 и 10. Поступак је реализован у оквиру МОА (Massive Online Analysis) софтверског окружења за имплементацију алгоритама за онлајн учење из еволуирајућих стримова података, које је дизајнирано да се носи са изазовним проблемима које исти са собом носе. На основу постигнутих резултата, у оквиру датих експерименталних поставки, приказана је и дискутована компаративна анализа кориштених алгоритама.

2. ДАТА МИНИНГ СТРИМОВА ПОДАТАКА

Стрим података представља велики обим података који долазе у форми неповезане секвенце, при чему су, типично, старији објекти података мање значајни од новијих, и самим тим њихов допринос требало би да је мањи [1]. То је стога што се карактеристике података, током њихове еволуције могу мијењати, те се тако најновијим понашањима стрима података треба обратити већа пажња, односно дати им одређена тежина.

Посматрано у реалном времену стрим података је низ ставки (*items*, појединачне ставке стрима могу бити у форми релационих н-торки (*tuples*) или инстанце објеката) података који долазе у неком редослиједу и могу да буду виђени само једном. Будући да ставке могу долазити на махове, стрим података, у контексту

модела, може да се моделира као секвенца листи елемената.

Због поменутих карактеристика стримова података, дата мининг стримова података [2],[3] често се спроводи на основу одређених временских интервала (у многим случајевима сам исјечак стрима је од интереса), тзв. прозора (*windows*). Два главна, различита модела прозора стримова података, у литератури помињана, су: фиксирани прозор (*landmark window*) и клизни прозор (*sliding window*) [4].

У првом моделу, неке временске тачке – оријентири, (*landmarks*) су идентификоване у стриму података и анализе се изводе само за дио стрима који пада између последњег оријентира и тренутног времена. Прозор је тако идентификован помоћу фиксне крајње тачке и крајње тачке у покрету, насупротив клизном моделу прозора, гдје прозор идентификују двије клизне крајње тачке (у овом приступу, стари подаци су избачени када нови подаци стигну).

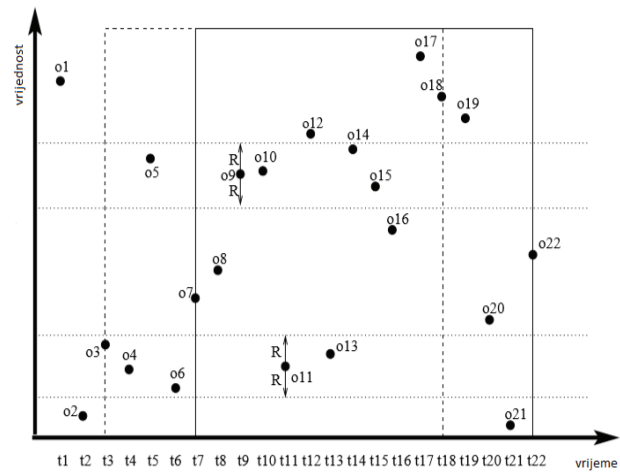
У свим моделима прозора главни задатак је да се анализира дио стрима у тренутном прозору, како би се истражиле особине стрима података или издвојили објекти који су у складу са обиљежјима интересовања. У наставку је у фокусу проблем откривања објекта, које називају аномалије или аутлајери, који одуда рају, нису у складу (нпр. зависно од поимања могу бити интересантни или представљати проблем), у односу на друге податке у тренутном прозору.

3. ДЕТЕКЦИЈА АУТЛАЈЕРА У КОНТЕКСТУ СТРИМА ПОДАТАКА

Детекција изузетака или аутлајера представља широку област, која се проучава у контексту великог броја апликационих домена (нпр. у статистици се проучава деценијама, популарна у индустријским апликацијама) и домена података (укључујући високо димензионалне податке, мрежне податке, стримове података, временске серије података), при чему различити домени података при анализи изузетака обично захтјевају посвећене, намјенске технике различитих типова.

Поред дефинисања аутлајера за стримове података помоћу модела предвиђања, могу се израчунати аутлајери засновани на удаљености, за стримове података у било ком тренутку времена. За дати низ тачака, тачка o се зове $DB(k,R)$ - на удаљености базиран аутлајер, ако има мање од k тачака у растојање R од o .

Дакле, за одређени стрим података, у било ком временском тренутку, могу се детектовати аутлајери из скупа тачака које леже у оквиру тренутног клизног прозора, при чему се могу детектовати како у глобалном тако и локалном смислу.



Слика 1. Еволуција једнодимензионалног стрима података - са два временска прозора (апсциса се односи на вријеме доласка објекта, док ордината представља вриједност за сваки објект)

На Сл. 1 је приказан једнодимензионалан сет стрима података [5] са два временска прозора (t_3 до t_{18} и t_7 до t_{22}), при чему се за илустрацију разматра тренутни прозор у времену t_{18} . Ако сматрамо тачку са $k < 4$ тачке у оквиру растојања R као аутлајер, тада су o_9 (уз $k=4$ сусједи o_5, o_5, o_{10}, o_{14} и o_{15}) и o_{11} (уз $k=4$ сусједи o_3, o_4, o_6 и o_{13}) примјери инлајера (најмање заданих k сусједа у тренутном прозору), док су o_8 (са само 2 сусједа o_7 и o_{16}) и o_{17} (са само једним сусједом o_{18}) примјери аутлајера.

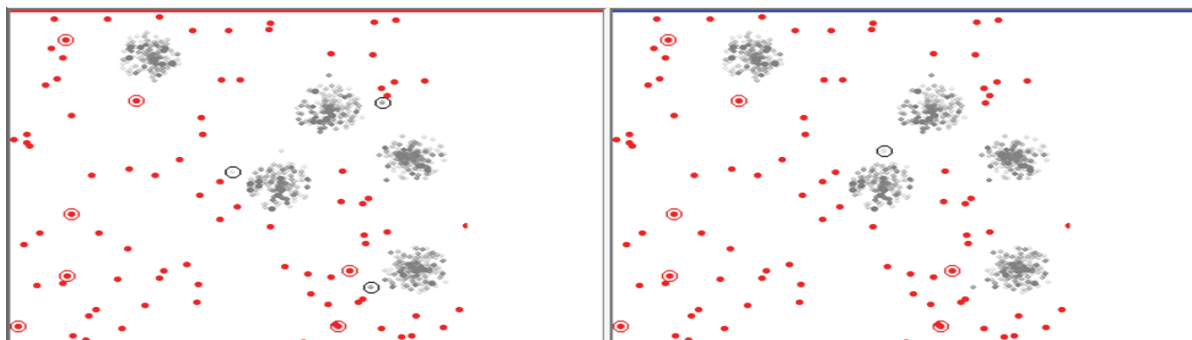
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА И РЕЗУЛТАТИ

У оквиру експерименталне поставке, у окружењу МОА софтверског пакета [6],[7] за потребу илустрације поступка детекције аутлајера у контексту стрима података, кориштени су већ поменути алгоритми, MСOD и АрргохSTORM над синтетички генерисаном стриму података од стране RandomRBF генератора (генерише случајну RBF (Radial Basis Function) функцију). Оба алгоритма, микро кластер базиран MСOD алгоритам и АрргохSTORM који враћа апроксимативан резултат на основу прецизних процјена са статистичком гаранцијом (у односу на базну верзију ExactSTORM уведене су ефективне апроксимације, (ситуације када цијели прозори не може да стане у меморију) које гарантује високу прецизност са ограниченом потребом за меморијом) спадају у категорију алгоритама базираних на дистанци (*distance based*).

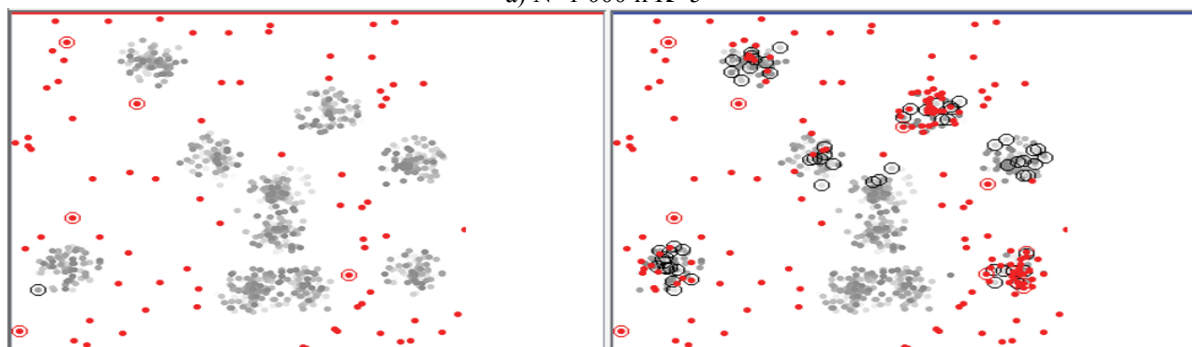
Кроз исходе експеримената биће показано и како ће се промјена броја тачака и броја кластера синтетички генерисаних података стрима одразити на детекцију аутлајера од стране поменутих алгоритама, са циљем увида утицаја и поређења постигнутих резултата за различите, посматране вриједности (величина, број кластера) стрима података.

Табела 1: Експериментални резултати детекције аутлајера за MСOD и ApproxSTORM алгоритме

Број тачака података	K=5				K=10			
	MСOD		ApproxSTORM		MСOD		ApproxSTORM	
	Инлајери (%)	Аутлајери (%)	Инлајери (%)	Аутлајери (%)	Инлајери (%)	Аутлајери (%)	Инлајери (%)	Аутлајери (%)
1 000	64.9	8.7	65.5	8.8	44.9	7.6	45.4	17.1
5 000	86.6	7.7	86.7	7.7	79.5	7.1	80.4	7.1
10 000	89.7	7.2	89.8	7.2	84.9	6.8	86.2	6.6
25 000	90.8	7.7	90.9	7.7	87.1	7.0	89.0	6.9
50 000	91.3	7.8	91.3	7.8	88.0	7.0	89.6	6.9
100 000	91.68	7.8	91.6	7.8	88.0	6.9	90.0	6.8
250 000	91.6	7.9	91.6	7.9	88.0	7.0	90.1	7.0

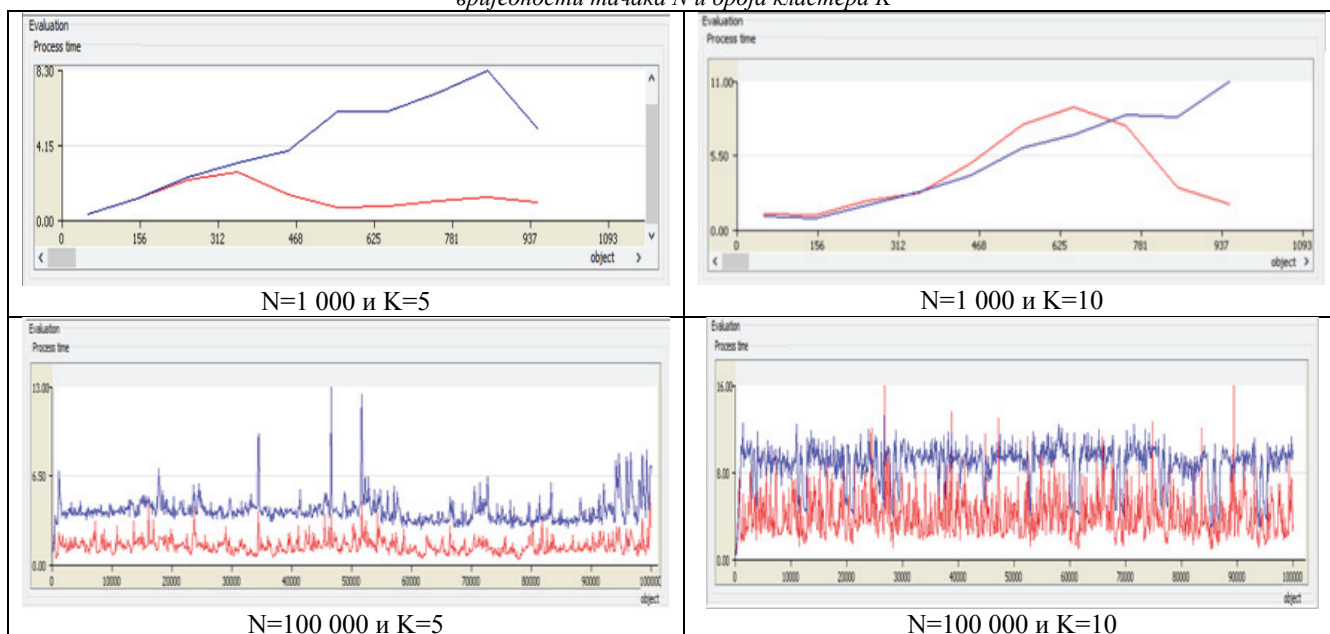


а) N=1 000 и K=5



б) N=1 000 и K=10

Слика 2. Визуелизација поступка: MСOD (црвена горња линија) и ApproxSTORM (плава горња линија), за одређене вриједности тачака N и броја кластера K



Слика 3. Графикоци времена извршавања: MСOD (црвена боја) и ApproxSTORM (плава боја)

Постигнути експериментални резултати детекције аутлајера кориштењем MСOD и ApproxSTORM алгоритама, дати су у Табели 1, гдје су приказане вриједности инлајера и аутлајера, изражене у проценти-ма, за различите волумене и број кластера ($K=5$ и $K=10$) стрима података. На основу добивених резултата, у оквиру наведене експерименталне поставке, може се примјетити да је највећи проценат аутлајера, за оба кориштена алгоритама, детектован на стриму података са најмањим бројем тачака ($N=1000$), те да је број кластера имао незнатан утицај на постотак детектованих аутлајера (осим за случај стрима од $N=1000$ тачака и 10 кластера, кориштењем ApproxSTORM алгоритама).

С друге стране, може се закључити да је са повећањем броја тачака стрима података дошло до значајног повећања постотка детектованих инлајера, од почетних 64.9% (или 649 тачака) за 1000 тачака до 91.6% за стрим података величине 250 000 тачака, за алгоритам MСOD и пет кластера на примјер. Ако се у сврху поређења, у контексту детекције инлајера, посматрају исти алгоритми за различит број кластера, може се примјетити да је постотак инлајера у мањој или већој мјери увјек мањи за већи број кластера (истовремено се смањује проценат тачака које су истовремено инлајери и аутлајери – за горњи примјер, са 26.4% на 1.4%).

Визуелизација поступка и графови времена извршавања, изабраних примјерака дат су на Сл.2 и Сл.3 респективно. На Сл. 2 се може видјети како објекти имају различит статус (за вријеме периода постојања објекти евалуирају, мјењају свој статус, од инлајера до оутлајера и обрнуто, у оквиру клизног прозора) који је означен различитим бојама, па су тако аутлајери приказани као црвене тачке, а црвени круг око тачке означава да објекат мијења статус и постаје аутлајер (црни круг индицира да тачке које су биле аутлајери постају инлајери).

На Сл. 3 приказани су графови, вријеме извршавања кориштених MСOD (означен црвеном бојом) и ApproxSTORM (означен плавом бојом) алгоритама у односу на број објеката, за случај стрима са најмањим и стрима са 100 000 тачака (због смањене илустративности није дат приказ графикона за највећи број тачака). Увидом у графове генерално се може речи да је алгоритам MСOD имао значајно мање вријеме процесирања у односу на ApproxSTORM алгоритам.

5. ЗАКЉУЧАК

Детекција аутлајера, без обзира на њихову крајњу семантичку одредницу, представља важан, а због специфичне природе стрима података додатно изазован и актуелан задатак, у односу на традиционални дата мининг.

У раду је дат увид у један, на дистанци базиран, начин континуиране детекције аутлајера, приказани и дискутовани постигнути резултати кориштењем MСOD и ApproxSTORM алгоритама, у оквиру датих експерименталних поставки у контексту дата мининга стримова података, који као такав може послужити за примјену и на реалне стримове података.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Angiulli, F., Fasseti, F., "Distance-based outlier queries in data streams: the novel task and algorithms", *Data Mining and Knowledge Discovery*, Volume 20, Issue 2, pp 290-324, 2010.
- [2] Janković, O., "Data Mining: Evaluacija klasifikacije iz perspektive strima podataka", XXII naučna i biznis konferencija YU INFO 2016, Zbornik radova, str. 373-378, 2016.
- [3] Janković, O., "Data Mining: Evaluacija klasterovanja iz perspektive strima podataka", XV Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH Jahorina 2016, Vol. 15, str. 654-659, 2016.
- [4] Golab, L., Ozsú, M.T., "Issues in data stream management", *SIGMOD Record*, 32(2):5-14, 2003.
- [5] Angiulli, F., Fasseti, F., "Detecting Distance-based Outliers in Streams of Data, " in Proc. of the 16th ACM Conf. on Information and Knowledge Management (CIKM), 2007, pp. 811– 820.
- [6] Srimani, P.K., Patil, M.M., "Outlier Mining in Data Streams Using Massive Online Analysis Framework", *International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology*, Vol. 3, Issue. 1, 2015.
- [7] Georgiadis, D., Kontaki, M., Gounaris, Papadopoulos, A. N., Tsihlias, K., i Y. Manolopoulos, "Continuous Outlier Detection in Data Streams: An Extensible Framework and State-Of-The-Art Algorithms", *SIGMOD Conference*, pp. 1061–1064, 2013.

КОМБИНАТОРНА ОПТИМИЗАЦИЈА



SOME NEW COMPLEXITY INDICES FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM

DRAGOŠ CVETKOVIĆ

Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade
and

Mathematical Institute SANU, Belgrade, ecvetkod@kondor.etf.rs

MIRJANA ČANGALOVIĆ

Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, canga@fon.bg.ac.rs

ZORICA DRAŽIĆ

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, lolaz@sezampro.rs

VERA KOVAČEVIĆ-VUJČIĆ

Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, verakov@fon.bg.ac.rs

Abstract: *In this paper we extend our previous work on complexity indices for the traveling salesman problem (TSP). We consider the symmetric traveling salesman problem with instances I represented by complete graphs G with distances between cities as edge weights. A complexity index is an invariant of an instance I by which we predict the execution time of an exact TSP algorithm for I . We consider some short edge subgraphs of G and define several new invariants related to their connected components. Extensive computational experiments with instances on 50 vertices with the uniform distribution of integer edge weights in the interval $[1, 100]$ show that there exists correlation between the sequences of selected invariants and the sequence of execution times of the well known TSP solver Concorde.*

Keywords: *Traveling salesman problem, Complexity index, Concorde TSP solver, Linear correlation*

1. INTRODUCTION

The traveling salesman problem (TSP) is one of the best-known NP-hard combinatorial optimization problems. There is an extensive literature on both theoretical and practical aspects of the TSP (see e.g. Lawler et al. [1], Gutin and Punnen [2], Applegate et al. [3]). The symmetric traveling salesman problem which will be considered in this paper consists of finding a Hamiltonian cycle of the minimal weight in a weighted complete undirected graph G .

The definition of a complexity index can be formulated as follows:

Definition (Cvetković [4]). Let A be an exact algorithm for solving an NP-hard combinatorial optimization problem C and let I be an instance of C of dimension n . A complexity index of I with respect to A is a real r , computable in polynomial time $P(n)$ from I , by which we can predict (in a well defined statistical sense) the execution time of A for I .

The efficiency of the complexity index r can be statistically estimated measuring the linear correlation between the index value and the execution time of algorithm A .

The coefficient of linear correlation for two sequences $B = (b_i)$ and $C = (c_i)$ of length p is defined by

$$C_{BC} = \frac{1}{\sqrt{v_B v_C}} \sum_{i=1}^p (b_i - m_B)(c_i - m_C),$$

where m_B, m_C, v_B, v_C are mean values and variances of the corresponding sequences B and C , respectively.

Complexity indices are useful in designing adaptive algorithms and in creating search strategies within branch and bound algorithms. Although there are in the literature some empirical and theoretical considerations on complexity indices (see, for example, Cvetković et al. [5], Ashok and Patra [6], Reeves and Ereemeev [7], Cvetković [4]), a good theory of such phenomena is still missing.

In this paper we consider complexity indices for the symmetric traveling salesman problem. In Section 2 we give a survey of our previous results on this topic, while in Section 3 we define some new complexity indices and compute correlation coefficients between these indices and the execution times of the well known Concorde TSP solver.

2. SURVEY OF OUR PREVIOUS RESULTS

Our first experiments with the complexity indices were related to the open tour TSP with respect to the branch and bound (B&B) algorithm which uses the minimal spanning tree (MST) problem as a relaxation (see Cvetković [5]). If a MST is a path, it represents also a solution to the TSP. The main idea is based on the expectation that a branch and bound algorithm will run for longer the more the MST deviates from a path, i.e. the greater “branching extent” it has. Accordingly, any graph invariant characterizing well the “branching extent” in an intuitive sense can be considered as a complexity index for the traveling salesman problem. The following invariants have been considered.

D : the number of vertices of degree 2 in the MST

λ_1 : the largest eigenvalue of the adjacency matrix of the MST

S_4 : the fourth spectral moment of the MST, i.e.

$$S_4 := 6(n-1) - 2 \sum_{i=1}^n d_i^2, \text{ where } d_i \text{ is the degree of}$$

vertex i in the MST.

$$F_s := d_1! + \dots + d_n!$$

$$F_p := d_1! \dots d_n!$$

In our experiments a number of instances of the TSP have been generated by means of a random generator using the uniform distribution in interval $(0, 1)$ for the weights. For each instance the considered indices were computed and the number N of the solved relaxation tasks when running the B&B algorithm was recorded, where a natural assumption was made that the execution time of the B&B algorithm is proportional to N . The linear correlation coefficients and Spearman correlation coefficients between indices and N , i.e. $\log(N)$, have been calculated. Table 1 presents the obtained results for the linear correlation coefficients on a series of 100 randomly generated graphs with 12, 14 and 16 vertices.

Table 1: Linear correlation coefficients related to MST

	$n=12$		$n=14$		$n=16$	
	N	$\log(N)$	N	$\log(N)$	N	$\log(N)$
D	0.293	0.529	0.349	0.499	0.372	0.513
λ_1	0.378	0.543	0.225	0.408	0.383	0.333
S_4	0.469	0.587	0.340	0.505	0.498	0.444
F_s	0.643	0.375	0.036	0.179	0.206	0.144
F_p	0.690	0.517	0.269	0.359	0.235	0.168

Another approach to the complexity indices was motivated by the result on a semidefinite programming (SDP) relaxation of the TSP. The notion of the algebraic connectivity, which is defined as the second smallest eigenvalue of the Laplacian matrix $L(G)=D(G)-A(G)$, where $D(G)$ is the diagonal matrix with vertex degrees on the diagonal and $A(G)$ is the adjacency matrix, has been

used in Cvetković et al. [8] to formulate the following discrete SDP model of the TSP:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(-\frac{1}{2}g_{ij}\right)x_{ij} + \frac{\alpha}{2} \sum_{i=1}^n g_{ij}$$

$$x_{ii} = 2 + \alpha - \beta, i = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = n\alpha - \beta, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{\alpha - 1, \alpha\}, i, j = 1, \dots, n, i < j \quad (3)$$

$$X \geq 0 \quad (4)$$

Here $G=[g_{ij}]_{n \times n}$ is the distance matrix and $X \geq 0$ means that the matrix $X=[x_{ij}]_{n \times n}$ is symmetric and positive semidefinite, while α and β are chosen so that $\alpha > h_n/n$ and $0 < \beta \leq h_n$ with $h_n = 2 - 2 \cos(2\pi/n)$ being the algebraic connectivity of the Hamiltonian cycle C_n . It has been shown in [8] that a solution X of the SDP formulation of the TSP gives the Laplacian matrix L of an optimal Hamiltonian cycle via the formula $L=X+\beta I-\alpha J$, where I is the unit matrix and J has all entries equal to 1. The SDP relaxation is obtained when discrete constraints (3) are replaced by $\alpha - 1 \leq x_{ij} \leq \alpha$.

Several invariants have been considered as complexity indices for the TSP with respect to the B&B algorithms based on the SDP relaxation (see Cvetkovic et al. [9]). Let X be the solution of the SDP relaxation problem with $\beta = h_n$ and $\alpha=1$ and let $L = X + h_n I - J$ has the entries l_{ij} . Then L determines the weighted graph $W_L = (V, E_L, C_L)$, where $V = \{1, \dots, n\}$ is the vertex set, $E_L = \{\{i, j\} \mid l_{ij} < 0\}$ is the edge set and $C_L = 2I - L$ is the weight matrix, and the corresponding non-weighted graph $G_L = (V, E_L)$. The most efficient indices turned out to be the following ones:

I_1 : the number of edges of G_L

I_2 : the second smallest eigenvalue of the Laplacian of G_L

$I_3 := \sum_{i=1}^n |\mu_i - \mu_i^*|$, where μ_1, \dots, μ_n and μ_1^*, \dots, μ_n^*

are sequences of nondecreasing eigenvalues of the Laplacian of G_L and a Hamiltonian cycle respectively.

I_4 : the same sum as in I_3 but with eigenvalues of the Laplacian of W_L instead of G_L

I_5 : the number of vertices of G_L with degrees greater than 2.

The efficiency of the indices has been experimentally investigated. For each of dimensions $n=20, 25, 30$ and 35 , fifty randomly generated TSP instances were considered, with distances uniformly distributed in interval $[1,999]$. To each instance the B&B algorithm based on the SDP relaxation was applied. Table 2 contains the linear correlation coefficients between values of indices $I_k, k=1, \dots, 5$ and the number of relaxation tasks of the corresponding dimensions.

Table 2: Linear correlation coefficients related to SDP

n	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
20	0.53	0.35	0.53	0.53	0.53
25	0.48	0.49	0.48	0.48	0.49
30	0.29	0.21	0.29	0.42	0.33
35	0.56	0.52	0.56	0.38	0.55
average value	0.47	0.39	0.47	0.45	0.48

The obtained experimental results in Table 2, although more encouraging than the results in Table 1, indicate the lack of theoretical explanations of phenomena with complexity indices and the need for experiments with instances of higher dimensions.

3. SOME NEW COMPLEXITY INDICES

Intuitively, the hardness of an instance I of the TSP depends on the distribution of short edges within G . Solutions of the MST and the SDP relaxations gave as the output certain short edge subgraphs. Recently we started to consider some other classes of short edge subgraphs of G as non-weighted graphs and several their invariants as potential complexity indices. How short an edge should be to be considered as “short” depends on the context.

For numerical experiments we have used the computer package the Concorde TSP Solver, a program for solving the traveling salesman problem. It was written by David Applegate, Robert E. Bixby, Vašek Chvátal, and William J. Cook, in ANSI C, and is freely available for academic use [3]. Concorde is widely regarded as the fastest TSP solver, for large instances, currently in existence.

For the dimension $n=50$, a series of one hundred randomly generated TSP instances was considered, with weights uniformly distributed in interval $[1,100]$.

Instead of counting relaxation tasks (as in branch and bound algorithms), here we have recorded Concorde execution times for solving particular instances. Having in view our goals, small execution times (of order of 0.01 seconds) represented some problems. Also, Concorde execution times vary when the same instance is run several times. Therefore, we took the average execution time for five executions of the same instance, avoiding instances with greatest relative deviations.

Our attention has been attracted by the short edge subgraph consisting of edges of length 1 or 2. From the

point of view of the theory of random graphs, such subgraphs are random graphs of Erdos-Renyi type with probability $p=0.2$ for any two vertices to be connected by an edge. For this value of p the theory predicts the appearance of giant components (see Bollobas [10]). In our series we came across several components with over 20 vertices and one had even 34 vertices.

We considered, among other things, the following three invariants for these subgraphs:

J_1 : the product of the numbers of vertices of the components

J_2 : the product of the numbers of vertices in longest self-avoiding paths in the components

J_3 : the product over all components of the product of the number of vertices in the component and the length of the longest self-avoiding path (in the case that the length is equal to 0 we put 1 instead).

For these invariants we got correlation coefficients 0.469688, 0.463897 and 0.467657 respectively. We have similar and even better results for some similar invariants. Theoretical explanations will be given in a forthcoming paper.

A little smaller correlation coefficients were obtained for invariants of the subgraph obtained by the solution of the assignment problem. In this subgraph all components are cycles. The following invariants of this subgraph were considered.

J_4 : the product of the numbers of vertices of components

J_5 : the number of components.

For these invariants we got correlation coefficients 0.239848 and 0.254386 respectively. It is interesting to note that similar values of the correlation coefficient J_4 were obtained for the asymmetric TSP and a branch and bound algorithm for instances on up to 20 vertices [5], pp. 22-23. A theoretical explanation of the suitability of this invariant as a complexity index for the TSP was given in [5].

All above results have been verified on another series of 100 random TSP instances on 50 vertices. Table 3 summarizes the linear correlation coefficients between the values of complexity indices $J_k, k=1, \dots, 5$ and the execution times of Concorde TSP solver.

In the future work we plan to consider the Spearman (rank) correlation coefficient as well. We shall also consider TSP instances with a greater number of vertices, say one hundred.

Table 3: Linear correlation coefficients related to short edge subgraphs

J_1	0.469688
J_2	0.464897
J_3	0.467657
J_4	0.239848
J_5	0.254386

5. CONCLUSION

This paper defines several graph invariants which can be used as complexity indices by which the execution time of an exact TSP solver can be predicted. Computational experiments with instances on 50 vertices show that there exists correlation between the sequences of selected invariants and the sequence of execution times of the well known TSP solver Concorde. The results obtained for the complexity indices $J_1 - J_3$ for the TSP seem to be encouraging and in the future work we will try to give theoretical explanations of the obtained computational results.

REFERENCES

- [1] Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnoy Kan, A.H.G., Shmoys, D.B., (eds.), *The Traveling Salesman Problem*, John Wiley and Sons, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore, 1985.
- [2] Gutin, G., Punnen, A., (eds.), *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
- [3] Applegate, D., Bixby, R. E., Chvátal, V., Cook, W. J., *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press, 2006.
- [4] Cvetković D., "Complexity indices for the travelling salesman problem and data mining", *Transactions of Combinatorics*, 1(2012), No. 1, 35-43.
- [5] Cvetković, D., Dimitrijević, V., Milosavljević, M., *Variations on the Travelling Salesman Theme*, Libra produkt, Beograd, 1996.
- [6] Ashok, B., Patra, T. K., "Locating phase transitions in computationally hard problems", *Pramana*, 75(3)(2010), 549-563.
- [7] Reeves, C.R., Ereemeev, A.V., "Statistical analysis of local search landscapes", *J. Oper. Res. Soc.*, 55(2004), 687-693.
- [8] Cvetković, D., Čangalović, M., Kovačević-Vujčić, V., "Semidefinite programming methods for the symmetric traveling salesman problem", *Integer Programming and Combinatorial Optimization, Proc. 7th Internat. IPCO Conf., Graz, Austria, June 1999*, G. Cornuejols, R.E. Burkard, G.J. Woeginger, (eds.), Lecture Notes Comp. Sci. 1610, Springer, Berlin, 1999, 126-136.
- [9] Cvetković, D., Čangalović, M., Kovačević-Vujčić, V., "Complexity indices for the traveling salesman problem based on a semidefinite relaxation", *SYM-OP-IS '99*, 177-180.
- [10] Bollobas, B., *Random Graphs*, Academic Press, London, 1985.



SOLVING THE UNCAPACITATED R-ALLOCATION P-HUB MAXIMAL COVERING PROBLEM USING GENETIC ALGORITHM

OLIVERA JANKOVIĆ

Faculty of Mathematics, Studentski trg 16/IV, 11000 Belgrade, Serbia
 Faculty of Economics, Đure Pucara Starog 3, 34000 Kragujevac, Serbia, jankovic.olivera@gmail.com

Abstract: This paper deals with the uncapacitated r -allocation p -hub maximal covering problem (UrApHMCP) with binary covering criterion. This problem consists of choosing p hub locations from a set of nodes so as to maximize the total demand covered while satisfying the r -allocation strategy. General assumption is that transportation between non-hub nodes is possible only via r hub nodes to which non-hub nodes are assigned. In order to solve the problem a genetic algorithm (GA) heuristic is proposed. The computational experiments demonstrate efficiency and effectiveness of the proposed method.

Keywords: p -hub maximal covering problem, binary coverage, Heuristics, Genetic algorithm

1. INTRODUCTION

The p -hub maximal covering problem over uncapacitated complete hub networks is widely used within the design of supply chains, tourism routing, air transportation networks, postal delivery networks, etc. [4] The aim of this problem is to maximize the demand covered with a fixed number of hubs to be located. In this paper, the uncapacitated r -allocation p -hub maximal covering problem (UrApHMCP) with binary covering criterion is studied. UrApHMCP represents a generalization of the p -hub maximal covering problem, and it is formally defined as follows.

Let $G(N, E)$ be a complete symmetric graph, where $N = \{1, 2, \dots, n\}$ represents a set of nodes, and $E = \{(i, j) : i, j \in N\}$ denotes a set of arcs with no capacity restrictions imposed and let $H \subseteq N$ be the set of potential hubs. Let d_{ij} be the distance and T_{ij} the flow of demand between each pair of nodes $i, j \in N$. The cost of total path length from origin $i \in N$ to destination $j \in N$ via hubs $k \in H$ and $m \in H$ is denoted as c_{ij}^{km} .

It is calculated as $c_{ij}^{km} = \chi d_{ik} + \alpha d_{km} + \delta d_{mj}$, where χ, δ and α represent cost factors for flow collection from an origin to a hub, distribution from a hub to a destination, and for the interhub connection, respectively. In general, it is assumed that $\alpha < \chi$ and $\alpha < \delta$. Direct transportation between non-hub nodes is not allowed.

Each node can be assigned to at most r out of p established hubs, and all incoming and outgoing flow for that node is sent via one of those r hubs [12]. According to the binary coverage criterion [5], which is used in this paper, the established path from i to j via hubs k and m is considered as covered, if its length is equal or less than a predefined limit β_{ij} . As in paper by Peker and Kara [10], for each path $i \rightarrow k \rightarrow m \rightarrow j$, a binary parameter a_{ij}^{km} is introduced to indicate whether an origin-destination pair i and j is covered by using hubs k and m :

$$a_{ij}^{km} = \begin{cases} 1, & \text{if } c_{ij}^{km} \leq \beta_{ij} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i, j \in N \quad \forall k, m \in H$$

The goal of UrApHMCP is to choose exactly p nodes from the set H and to allocate non-hub nodes to at most r hubs, so that the total covered demand with respect to the binary coverage criterion is maximized. In order to present mathematical formulation of the UrApHMCP, the following sets of variables are introduced.

Let binary variable x_{ik} takes the value of 1 if node $i \in N$ is allocated to hub $k \in H$, and 0 otherwise. In case that $x_{kk} = 1$, the node k represents hub node and is naturally assigned to itself. Binary variable y_{ijkm} is equal to 1 if there is traffic that travels from origin node

$i \in N$ to hub $k \in H$, then to hub $m \in H$, and finally to the destination node $j \in N$. Using the above notation, the UrApHMCP with binary coverage may be formulated as the following integer program (IP):

$$\max \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in H} \sum_{m \in H} a_{ij}^{km} T_{ij} y_{ijkm} \quad (1)$$

$$x_{ik} \leq x_{kk} \quad \forall i \in N \quad \forall k \in H, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in H} x_{ik} \leq r \quad \forall i \in N, \quad (3)$$

$$\sum_{k \in H} x_{kk} = p, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in H} \sum_{m \in H} y_{ijkm} = 1 \quad \forall i, j \in N, \quad (5)$$

$$y_{ijkm} \leq x_{ik} \quad \forall i, j \in N \quad \forall k \in H, \quad (6)$$

$$y_{ijkm} \leq x_{jm} \quad \forall i, j \in N \quad \forall m \in H, \quad (7)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N \quad \forall k \in H, \quad (8)$$

$$y_{ijkm} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad \forall k, m \in H. \quad (9)$$

The objective function (1) maximizes the covered demand of all origin-destination pairs. Constraints (2) with constraints (3) ensure that each node is allocated to at most r hubs. Constraint (4) indicates that exactly p hubs are located. Constraint (5) ensures that the flow for each origin-destination pair is completely routed via some pair of hubs. Constraints (6) and (7) indicate that if the flow is routed from origin i to destination j through established hubs k and m , respectively, then node i is assigned to hub k and node j to hub m . Constraints (8) and (9) indicate binary representation of variables x_{ik} and y_{ijkm} .

The UrApHMCP with binary coverage is an NP-hard optimization problem, as a generalization of both single allocation ($r=1$) and multiple allocation p-HMCP ($r=p$) that are proved to be NP-hard [1, 4]. To solve it, a genetic algorithm (GA) is developed as a solution method. To evaluate the effectiveness, the proposed GA is compared with the CPLEX solver on the standard CAB and AP data set (see [2]).

2. GA FOR THE R-ALLOCATION P-HUB MAXIMAL COVERING PROBLEM

Genetic algorithm (GA) represents a metaheuristic for solving various optimization problems. It is an iterative method which starting from an initial generation produces future generations by applying genetic operators of selection, crossover and mutation. After certain stopping criterion is fulfilled, GA finishes its work and reports the best individual from the last generation as a solution of the problem at hand. For a more detailed coverage of GA, the reader is referred to [7], [8], [11], etc.

The basic GA scheme that is implemented can be described as follows (Algorithm 1):

Algorithm 1: Steps of the proposed GA heuristic.

Function $GA(n_1)$;

n_1 = Population size;

P = Generate an initial (parent) population by randomly creating n_1 individuals;

Calculate fitness values for all individuals in population;

while not termination condition **do**

Choose n_2 surviving individuals according to fitness values and add them to child population C ;

for $i = 1 : (n_1 - n_2)$ **do**

P_1 = select parent (by FGTS) among nonchosen individuals;

P_2 = select parent (by FGTS) among nonchosen individuals;

C_1 = crossover (P_1, P_2)

Mutate C_1 ;

Calculate fitness value of C_1 ;

Insert C_1 into C ;

end

$P \leftarrow C$;

end

Each individual in UrApHMCP is represented as an array of n genes, where each gene corresponds to one node of the network. The bit in each gene takes the value of 1 if the corresponding node is chosen as a hub and 0 otherwise. The initial population consists of 150 randomly generated individuals. Each individual is generated by choosing exactly p random nodes to be hubs. After generating the initial population, the fitness value of each individual is calculated. The fitness value of the individual is equal to its objective function value. Let H be the set of p hubs that corresponds to an individual. In order to calculate its objective value, nodes are first assigned to hubs in set H . After choosing hub nodes, the node to hub allocations must be found. The function $alloc(i, h)$ is used. It is computed as:

$$alloc(i, h) = d_{ih} \sum_{j \in N} t_{ij} + \sum_{j \in N} t_{ij} d_{hj}.$$

This function reflects the influence of allocating non-hub node i to hub h (see [9]). The first term in $alloc(i, h)$ represents the cost associated with the arc from i to h , and the second one measures the cost associated with the arcs from h to all destinations j .

Function $alloc(i, h)$, $\forall h = h_1, h_2, \dots, h_p$ is computed and each node i is assigned to the r hubs with the best allocation values $alloc(i, h)$, in greedy way.

After calculating fitness values, in each iteration 30% individuals from the current population are chosen as elite individuals and included directly in the next population. As elite individuals are considered those with the best fitness values. Genetic operators are applied on the rest of the population, so that only 70% of the population is replaced in every iteration. Duplicated individuals are removed and their fitness values are set to zero so that selection operator avoids them to enter the next population.

Selection operator chooses the individuals that will produce offspring in the next generation, according to their fitness. In this GA implementation, fine-grained tournament selection (FGTS) is used, see [6]. Size of selected population is 70% of the initial population. In the implemented GA the average tournament size is set to 5.4.

Crossover and mutation operators are used in each phase of GA. The standard crossover operator (one-point crossover) appears to be ineffective and not appropriate for this scheme. The implemented crossover operator takes two parent individuals and produces one offspring individual, whose set of hubs is the union of hubs in parent individuals. Obviously, the offspring individual may have more than p hubs. So, in order to correct the produced offspring to be feasible, it is necessary to set some bits to 0 (i.e., to close some hubs). Therefore, a new matrix E with n rows and q columns is constructed, where q is the number of hubs of the new individuals. Each entry $E(i, j)$ represents the closeness of hub h_j to node i which is estimated as in [9]:

$$E(i, j) = d_{ij} \sum_{k \in N} t_{ik}.$$

The reason for using such evaluation is the fact that as the value of $E(i, j)$ is smaller, it is more convenient to send traffic from the node i via node j . By using matrix E hubs are removed iteratively by the following procedure. Let $m(E)$ denote the sum of minima computed for each row of matrix E , i.e.,

$$m(E) = \sum_{i=1}^n \min_{j=1 \dots q} E(i, j),$$

and let E_j denote the matrix deduced from E deleting column j . Since, removal of the hub h_j corresponds to the deletion of the j -th column of the matrix E , the hub h_j to be removed is chosen as the one that corresponds to the j -th column so that difference between $m(E_j)$ and $m(E)$ is the least possible. After deleting hub h_j ,

matrix E_j is set to be new matrix E and the process is repeated until the number of hubs in the individual becomes p .

Each produced offspring is subject to a mutation. Mutation is a process that reverses the structure of an individual and serves as a policy to prevent solutions from being trapped in local optima. In this work, the mutation operator is performed simple by changing a randomly selected gene in the genetic code with small mutation rate (probability) of 3%.

GA finishes its work when one of the following stopping criteria is fulfilled: the number of performed iterations is 1000, or the number of individuals with the same objective value is 300.

3. COMPUTATIONAL RESULTS

The proposed GA method is coded in C++ and executed on an Intel Core I7 with 3.0 GHz CPU and 8GB of RAM. The performance of GA method is tested on the standard CAB and AP benchmark instances that are used for various hub location problems (see [8], [9], [10], etc.). On each instance, GA method is run 10 times.

The parameter α_{ij}^{km} for the binary coverage is defined as in [10]:

$$\alpha_{ij}^{km} = \begin{cases} 1, & \text{if } c_{ij}^{km} \leq 0.75\beta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i, j \in N \quad \forall k, m \in H$$

For all considered hub instances, the collection and distribution cost parameters χ and δ are set to 1. The values of the parameter β are taken from [3].

The quality of results obtained by the proposed GA heuristic is assessed by comparing them with the results obtained by solving IP formulation (1) – (9) presented in Section 1 commercial CPLEX 12.6 MIP solver, which was run on the same platform as GA. The maximum CPU time allowed for the CPLEX 12.6 MIP solver was set to 1 h (3600 s) on each test instance.

The results of the GA on CAB data set are presented in Table 1. From these results, it follows that GA converges to high-quality solutions. It can be seen that CPLEX failed to provide optimal solution for 3 out of 24 CAB instances only. However, in these cases, CPLEX provided feasible solutions within 1h of CPU time. On the other side, GA reached all optimal solutions and improved lower bounds provided by CPLEX on instances unsolved to optimality. The average CPLEX running time on instances that are solved to optimality is 1606.21 seconds, while the corresponding average GA running time is 0.21 seconds. On CAB instances with no optimal solution known, the proposed GA provided a solution within 0.12 seconds on average.

The results of the GA on AP instances with $n = 25$ nodes (AP25) and AP instances with $n = 40$ nodes (AP40) are

presented in Table 2. From these results, it can be seen that CPLEX failed to provide an optimal solution for 3 out of 6 AP25 and for all AP40 instances that were tested. For AP25 instances, GA reached all optimal solutions and improved lower bounds provided by CPLEX on instances unsolved to optimality. The average CPLEX running time on instances that are solved to optimality is 1611.4 seconds, while the corresponding GA running time is 0.19 seconds, on average. On AP40 instances GA provided

better solutions than CPLEX consuming 0.85 seconds on average.

For larger AP instances with $n = 50$ nodes, CPLEX solver could not provide a feasible solution due to memory or time limitations. Therefore, Table 3 contains only the results of the proposed GA approach on these instances. Having in mind problem complexity, the GA provided solutions in very short running time. As it can be seen from Table 3, on average, GA obtained solution in 7.49 seconds.

Table 1: Results and comparisons of the UrApHMCP solutions obtained on CAB data set

n.p	r	α	CPLEX		GA		n.p	r	α	CPLEX		GA	
			value%	time	value%	time				value%	time	value%	time
25.3	2	0.2	96.58	1805.86	96.58	0.08	25.3	2	0.6	93.17	354.23	93.17	0.08
25.4	2	0.2	95.71	1541.47	95.71	0.13	25.4	2	0.6	93.62	1055.33	93.62	0.11
25.4	3	0.2	95.71	2100.11	95.71	0.16	25.4	3	0.6	93.63	831.95	93.63	0.13
25.5	2	0.2	92.70	2087.15	92.70	0.18	25.5	2	0.6	90.00	3600.05	90.12	0.14
25.5	3	0.2	92.70	2849.29	92.70	0.25	25.5	3	0.6	90.19	2727.55	90.19	0.23
25.5	4	0.2	92.70	2431.20	92.70	0.31	25.5	4	0.6	90.19	3531.83	90.19	0.26
25.3	2	0.4	96.24	2305.22	96.24	0.76	25.3	2	0.8	90.08	682.41	90.08	0.08
25.4	2	0.4	93.80	3600.09	95.01	0.10	25.4	2	0.8	89.02	3600.07	89.60	0.11
25.4	3	0.4	95.01	2049.70	95.01	0.14	25.4	3	0.8	89.61	1829.71	89.61	0.15
25.5	2	0.4	91.45	1267.85	91.45	0.15	25.5	2	0.8	89.03	728.15	89.03	0.16
25.5	3	0.4	91.84	1105.92	91.84	0.25	25.5	3	0.8	89.05	605.09	89.05	0.24
25.5	4	0.4	91.84	1110.36	91.84	0.28	25.5	4	0.8	89.05	730.11	89.05	0.27

Table 2: Results and comparisons of the UrApHMCP solutions obtained on AP25 and AP40 instances

n.p	r	α	CPLEX		GA	
			value%	time	value%	time
25.3	2	0.75	95.13	765.58	95.13	0.08
25.4	2	0.75	96.94	3000.50	96.94	0.12
25.4	3	0.75	97.16	1068.12	97.16	0.16
25.5	2	0.75	97.47	3600.07	97.87	0.17
25.5	3	0.75	98.03	3600.10	98.03	0.28
25.5	4	0.75	98.06	3600.09	98.06	0.35
40.3	2	0.75	84.25	3600.36	97.77	0.22
40.4	2	0.75	26.92	3600.35	96.85	0.42
40.4	3	0.75	28.64	3600.36	97.22	0.70
40.5	2	0.75	38.30	3600.36	97.04	0.60
40.5	3	0.75	38.05	3600.45	97.25	1.31
40.5	4	0.75	36.04	3600.35	97.44	1.84

Table 3: Results of the UrApHMCP solutions obtained on AP50 instances

n.p	r	α	GA	
			value%	time
50.3	2	0.75	97.86	0.44
50.4	2	0.75	97.53	0.80
50.4	3	0.75	98.05	1.56
50.5	2	0.75	97.66	1.40
50.5	3	0.75	97.89	2.87
50.5	4	0.75	97.90	5.32
50.10	2	0.75	99.20	3.60
50.10	3	0.75	99.27	9.73
50.10	4	0.75	99.29	18.76
50.10	5	0.75	99.32	30.47

4. CONCLUSION

This paper proposes a Genetic algorithm (GA) based heuristic for solving the uncapacitated r -allocation p -hub maximal covering problem (UrApHMCP) with binary coverage criterion. The results of computational experiments on CAB and AP data set show that the proposed GA heuristic performs well with regards to both computation time and solution quality. Future work may include the parallelization of the GA and its hybridization with other heuristics (or exact methods) for solving this or other p -hub location problems.

REFERENCES

[1] S. Alumur and B. Y. Kara. *Network hub location problems: The state of the art*. European Journal of Operational Research, 190(1):1-21, 2008.

[2] J. E. Beasley. *Obtaining test problems via internet*. Journal of Global Optimization, 8(4):429-433, 1996.

[3] J. Brimberg, N. Mladenović, R. Todosijević, D. Urošević. *A basic variable neighborhood search*

heuristic for the uncapacitated multiple allocation p -hub center problem. Optimization Letters, 1-15, 2015

[4] J. F. Campbell. *Integer programming formulations of discrete hub location problems*. European Journal of Operational Research, 72(2):387-405, 1994.

[5] R. Church and C. ReVelle. *The maximal covering location problem*. Papers in Regional Science, 32(1):101-118, 1974.

[6] V. Filipović. *Fine-grained tournament selection operator in genetic algorithms*. Computing and Informatics, 22(2):143-161, 2012.

[7] D. E. Goldberg and J. H. Holland. *Genetic algorithms and machine learning*. Machine learning, 3(2):95-99, 1988

[8] J. Kratica, M. Milanović, Z. Stanimirović, and D. Tošić. *An evolutionary-based approach for solving a capacitated hub location problem*. Applied Soft Computing, 11(2):1858-1866, 2011.

[9] J. Peiró, A. Corberán, and R. Martí. *Grasp for the uncapacitated r -allocation p -hub median problem*.

- Computers & Operations Research, 43(1):50-60, 2014.
- [10] M. Peker and B. Y. Kara. *The p-hub maximal covering problem and extensions for gradual decay functions*. Omega, 54:158-172, 2015.
- [11] Z. Stanimirović. *A genetic algorithm approach for the capacitated singleallocation p-hub median problem*. Computing and Informatics, 29(1):117-132, 2012.
- [12] H. Yaman. *Allocation strategies in hub networks*. European Journal of Operational Research, 211(3):442-451, 2011.



VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE UNCAPACITATED SINGLE-SOURCE MULTI-PRODUCT FACILITY LOCATION PROBLEM

PERICA TRAJKOV

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, pericatrajkov@gmail.com

ZORICA STANIMIROVIĆ

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, zoricast@matf.bg.ac.rs

Abstract: Facility location problems are an important class of optimization problems widely used in practice, especially when optimizing transportation and telecommunication networks. The focus of this study is on the uncapacitated single-source multi-product facility location problem (USSMP-FLP). Since this problem is NP-hard, a Variable Neighborhood Search (VNS) metaheuristic is developed as a solution method to USSMP-FLP. The proposed VNS uses three types of neighborhoods that are adapted to the considered problem. All three neighborhoods are explored within the shaking phase, ensuring good solution diversification. Local search uses the first improvement strategy that efficiently leads the VNS to high-quality solutions. The proposed VNS is benchmarked on existing test data sets for the considered problem. The best VNS solutions are compared with the optimal or best-known solutions from the literature. The results of conducted computational experiments show that the proposed VNS in most of the cases reaches the optimal or best-known solutions in short CPU times, while in the case of large problem dimensions, best-known solutions from the literature are improved.

Keywords: Facility location problem, Variable neighborhood search, Transportation and telecommunication networks.

1. INTRODUCTION

Facility location problems (FLPs) are one of the most studied optimization problems in the literature, due to their numerous and important applications. In general, the goal of FLPs is to determine locations for establishing objects that deliver some service (suppliers), and allocating customers to one or more suppliers, such that the total costs of establishing the network and transportation costs are minimized. Additional requirements may be involved depending on the characteristics of the particular transportation network. A review of facility location problems and their applications can be found in [1].

This paper deals a particular FLP denoted as Uncapacitated single-source multi-product facility location problem (USSMP-FLP). This problem deals with the given set of potential locations for establishing facilities, the set of customers, and the set of different product types. Each customer has a demand for each product type, and customer be supplied with one type of product from exactly one established facility. Each facility is allowed to manufacture a single product type only, but more than one facilities producing the same product type may be built. The problem involves the set up costs and manufacturing costs for each product type and each facility location. For each product type, delivery costs from a facility to a customer depending are given. The goal of the USSMP-FLP is to find optimal locations

for building facilities, to decide which type of products will be produced in each of them, and to determine delivery plan for each customer satisfying customer's demand, such that the total costs in the supply network is minimized. This problem belongs to the class of NP-hard problems, because it represents a generalization of the uncapacitated single-source facility location problem, which is known to be NP-hard [3].

The Uncapacitated single-source multi-product facility location problem is introduced by Nezhad et al. in [5]. The authors formulated the problem as an Integer Linear Program (ILP) and proposed two Lagrangian Relaxation (LR) heuristics to solve the problem. The proposed LR heuristics were benchmarked on three classes of test instances with different characteristics. On smaller size instances, both LR heuristics reached solutions obtained by solving ILP formulation within the framework of exact CPLEX solver. On larger problem instances unsolved to optimality, LR heuristics achieve or improve upper bounds obtained by CPLEX solver. In concluding remarks, the authors of [5] suggest using metaheuristic methods as a direction of future work on USSMP-FLP.

Following the suggestion from [5], this study proposes a basic variant of the well-known Variable Neighborhood Search (VNS) meta-heuristics, which has been adapted to the USSMP-FLP. The proposed VNS uses adequate neighborhood types within the Shaking and Local Search parts. The Local Search part uses the concept of the first-

improvement strategy in order to decrease the CPU time while preserving the solution's quality. The proposed VNS method is benchmarked on the same test instances, and obtained results are compared with the ones presented in [5].

The remainder of paper is organized as follows. In Section 2, we present a mathematical formulation of the USSMP-FLP. The proposed basic VNS method for solving the considered problem is described in Section 3. In Section 4, we present and analyze computational results. Section 5 provides summary of results and indicates some possibilities for future work.

2. PROBLEM FORMULATION

Let $I = \{1, \dots, m\}$ be the set of potential locations for establishing facilities. The set of customers is denoted by $J = \{1, \dots, n\}$, while $K = \{1, \dots, p\}$ represents the set of product types. The following notation is used to formulate the problem:

q_{jk} – the quantity of products of type $k \in K$ required by customer $j \in J$,

c_{ijk} – delivery cost for one unit of product type $k \in K$ from facility $i \in I$ to customer $j \in J$,

f_{ik} – the costs required to set up the production of the product type $k \in K$ at facility $i \in I$,

p_{ik} – the unit costs of manufacturing product type $k \in K$ in facility $i \in I$.

In order to simplify the formulation, γ_{ijk} is defined as

$$\gamma_{ijk} = (c_{ijk} + p_{ik})q_{jk}, \quad i \in I, j \in J, k \in K.$$

Two sets of binary decision variables are introduced. Variable x_{ijk} takes the value of 1 if customer $j \in J$ gets products of type $k \in K$ from facility $i \in I$, and 0 otherwise. Variable y_{ik} is set to 1 if products of type $k \in K$ are manufactured at facility $i \in I$, and it is set to 0 otherwise.

By using the notation given above, an Integer Linear Programming formulation of the Uncapacitated single-source multi-product facility location problem is as follows [5]:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \gamma_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p f_{ik} y_{ik}$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} = 1, \quad \forall j = 1, \dots, n, \forall k = 1, \dots, p$$

$$x_{ijk} \leq y_{ik}, \quad \forall i = 1, \dots, m, \forall j = 1, \dots, n, \forall k = 1, \dots, p \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1 \dots m, \forall j = 1 \dots n, \forall k = 1 \dots p \quad (5)$$

The objective (1) minimizes the total cost, which consists of the set up costs for production and the manufacturing costs for each product type and each facility, as well as delivery costs from a facility to a customer for each product type. Constraint (2) ensures that there is exactly one facility that provides a customer with a certain product type. A customer may be supplied with a product type only by an established facility that manufactures that product type, which is provided by constraint (3). Constraint (4) makes sure that each opened facility may produce only one product type. Binary nature of decision variables is set by constraint (5).

3. VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

Variable neighborhood search (VNS) is a metaheuristic proposed by Mladenović and Hansen [4]. Different variants of VNS have also been proposed in the literature, such as: Basic VNS, General VNS, Variable neighborhood descent (VND), sequential VND, nested VND, cyclic VND, etc. A review of VNS variants and applications can be found in [2].

In this paper we propose a solution for this problem using basic variant of the Variable Neighborhood Search (VNS). The basic VNS successively applies a shaking procedure that is used to hopefully resolve local minimum traps, and local search procedure that is used to improve the current best solution. Both shaking and local search procedures are applied together with the change of neighborhood structures $N_k, k=1, \dots, k_{max}$. The iterative process of the basic VNS is finished when a stopping condition is met-maximum number of iterations without improvement (*max_no_impr*). The pseudo code of the proposed basic VNS is given in Algorithm 1.

Algorithm 1: Basic VNS for USSMP-FLP

```

Procedure Basic VNS
   $S \leftarrow$  Generate_initial_solution;
   $Obj_{best} \leftarrow$  Obj_value ( $S$ );
   $k \leftarrow 1$ ;
   $no\_impr \leftarrow 0$ ;
  While  $no\_impr < max\_no\_impr$ 
     $k \leftarrow 0$ ;
    While  $k < k_{max}$ 
       $S' \leftarrow$  Shake( $k, S$ );
       $S'' \leftarrow$  Local_Search( $k, S'$ );
      If  $Obj\_value(S'') < Obj_{best}$ 
         $S \leftarrow S''$ ;
    (2)  $Obj_{best} \leftarrow$  Obj_value ( $S''$ );
     $no\_impr \leftarrow 0$ ;
     $k \leftarrow 1$ ;

```

Else
 $k \leftarrow k + 1;$
 $no_impr \leftarrow no_impr + 1;$

Generating initial solution

The VNS algorithm starts with generating an initial solution. In general, better quality of initial solution leads the VNS faster to high quality solutions. In the proposed basic VNS, a greedy procedure is applied to construct the initial solution.

The idea behind the greedy procedure is to assign each product type $k \in K$ to a factory $i \in I$ with the smallest set up costs for the product type k , which assumes that facility i has to be previously established. The procedure further assigns each customer $j \in J$ to be supplied by products of type k from the same facility with the smallest set-up costs. In this way, a feasible initial solution is obtained.

Neighborhood structures

The adequate choice of neighborhood structures is very important for good performance of a VNS based algorithm. Neighborhood structure is defined by applying a procedure on the current solution, thus generating its neighbor solution. It is desirable that this procedure does not generate infeasible neighbor solutions and that same neighbor solution is not obtained often. In the proposed basic VNS, three types of neighborhood structures N_k are used (i.e. parameter k_{max} is set to 3). The corresponding procedures for generating neighborhood structures N_1 , N_2 , and N_3 are as follows.

Procedure Add_or_delete_facility

The idea behind the procedure *Add_or_delete_facility* is to allow solution to change the number of established facilities. The procedure randomly selects potential facility location $i \in I$. In the case that facility is opened at location $i \in I$, the procedure closes the facility, and vice versa. In the case that procedure opens a new facility at location $i \in I$, the type of product to be manufactured at this newly opened facility is randomly chosen. Closing a facility at chosen position $i \in I$ is not allowed if this is the only location where certain product type is manufactured. After closing or opening a new facility, the procedure performs reallocation of customers by using the strategy of the smallest delivery costs for the corresponding product type.

Procedure Switch_product

In contrast to *Add_or_delete_facility*, the procedure *Switch_product* keeps the number of facilities unchanged, but it changes the product type produced by a randomly chosen facility. The new product type that is assigned to this facility is also randomly chosen from the set K . Here we also make sure that facility that switches its product, is

not the only facility that manufactures this product type. At the end, procedure *Switch_product* reallocates the customers following the smallest delivery cost strategy.

Switch_facility_products

The role of the last procedure *Switch_facility_products* is to overcome the shortcomings of the first two procedures. Sometimes, it can happen that it is not enough to add or to remove a facility, or to change the product for some factory, in order to get out of a local optimum trap. The procedure *Switch_facility_products* ensures a stronger diversification that helps the VNS to escape from local optimum. At the beginning of search process, *Switch_facility_products* allows that only one pair of facilities switches their products. As the search progresses, the number of pairs of facilities that switch the products is increasing up to certain constant. In later VNS stages, this limit is equal to $\log(no_impr)$. As in the case of the previous two procedures, reallocation of customers is performed at the end of this procedure, according to the smallest delivery costs rule.

Shaking and Local search phases

The role of the Shaking phase in VNS algorithm is to hopefully resolve local optima traps. The proposed basic VNS uses the shaking procedure that works over neighborhood structures N_k , $k=1,2,3$. At the input, the applied Shaking phase requires the current best solution S and the value of parameter k (neighborhood type). The solution S is replaced by a solution S' from the neighborhood structure N_k , $k=1,2,3$ generated by the procedure *Add_or_delete_facility*, *Switch_product*, and *Switch_facility_products*, respectively. The solution S' is returned as the output of our Shaking procedure.

VNS algorithm continues with a Local search part starting from a solution S' generated in the Shaking phase. Neighborhood structure used in the Local search phase is obtained by applying procedure *Switch_facility_products* on the solution S' , but allowing that only one randomly chosen pair of facilities switch their products.

The proposed VNS uses the first-improvement strategy in the Local search phase, i.e., the Local search finishes after the first better neighbor solution is found. The results of preliminary experiments showed that the applied first-improvement strategy decreases CPU time without affecting the final solution's quality.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

Computational experiments are conducted on three sets of test instances, denoted as Class I, II and III, which are generated by Nezhad et al. in [5]. Instances from Class I involve 21-117 customers, 5-15 potential facility locations and 2-12 product types, and they are easily solved to optimality [5]. Instances from Class II are obtained by modifying set-up and production costs in instances from Class I, resulting in instances that are much difficult to solve [5]. Class II contains instances having 80-100 customers, 30-100 potential sites and 15-40 product types. Finally, instances from Class III are obtained by

modifying Class II data set. Class III instances, involving 100 customers, 30-10 facility locations and 20-30 product types showed to be the most challenging [5].

All tests were conducted on an Intel Core I7-4600U with 2.4 GHz and 8 GB RAM memory. We have used commercial CPLEX solver, version 12.1, in order to find optimal solutions on the considered test instances. The obtained VNS results are compared with the optimal solutions (or upper bounds) returned by CPLEX within time limit of 1 hour, and with best solutions provided by one of the two LR heuristics from [5]. In the proposed VNS implementation, the value of stopping criterion parameter *max_no Impr* is set to 100. On each tested instance, VNS is run 5 times.

Detailed presentation of the VNS results on all test instances is too long for this paper. Therefore, in Table 1 we provide the results of VNS and comparisons with the CPLEX solutions and best LR results on the chosen subset of instances belonging to Class I, II, and III.

Table 1: Comparisons of the results on the subset of instances

Class	m	n	p	Best _{VNS}	t _{VNS} (s)	Sol _{CPLEX}	t _{CPLEX} (s)	LB _{LR}	UB _{LR}
I	5	29	4	32145.1525	0.009	32145.152	1.233	32145.1525	32145.1525
I	5	50	5	3124.923195	0.005	3124.923	2.122	3124.923195	3124.923195
I	10	100	9	13058.76075	0.365	13058.761	0.553	13058.76075	13058.76075
I	7	85	6	10074.849	0.021	10074.849	3.567	10074.849	10074.849
I	10	150	10	4738850974	0.119	4738850974	5.434	4738850974	4738850974
II	50	100	20	4499563.764	340.43	4485870.13^{UB}	t.l.	4204368	4646350
II	50	100	25	6355178.745	920.84	6715340.969 ^{UB}	t.l.	5645216	6751291
II	30	80	27	8705927	56.735	8723662.437 ^{UB}	t.l.	8466238	8740157
II	50	100	35	13718230.12	635.998	14242716.16 ^{UB}	t.l.	13014296	14071557
II	100	100	20	18032609.6	856.345	17831572.53^{UB}	t.l.	17734127	18276778
III	50	100	30	77876.19793	1138.82	81652.665 ^{UB}	t.l.	73469	80752
III	50	100	30	53864.6805	1238.45	57540.108 ^{UB}	t.l.	49356	56723
III	50	100	30	55817.68479	734.389	59043.501 ^{UB}	t.l.	51549	56943
III	30	80	25	23302.19597	90.574	23769.315 ^{UB}	t.l.	21517	23441
III	50	100	25	177162.8216	807.093	180103.372 ^{UB}	t.l.	173421	179858

The first four columns indicate the class of the instance, and the instance's parameters *m*, *n*, and *p*, respectively. The best VNS solution obtained through 5 runs is given in the column Best_{VNS}, while the column t_{VNS} contains the corresponding average CPU time (in seconds). The next two columns show the solution obtained by CPLEX solver (with superscript UB when it represents the upper bound returned within time limit of 1h) and the corresponding CPLEX running time. In the last two columns, we present the best lower bound (LB_{LR}) and the best upper bound (UB_{LR}) obtained by one of the Lagrangian relaxation heuristics proposed in [5]. The best results are bolded throughout Table 1.

For all Class I instances, VNS was successful in finding optimal solutions in significantly shorter CPU times compared to CPLEX solver. For most instances from Class II, the proposed VNS achieves or improves upper bounds obtained by Lagrangian relaxation methods or CPLEX solver in short running times. The advantages of the proposed VNS are more obvious on larger problem instances from Class III, since for these instances, the VNS method improved best-known solutions from the literature.

5. CONCLUSION

This paper proposes basic Variable Neighborhood Search method as a solution approach to the Uncapacitated single-source, multi-product facility location problem with set-up costs (USSMP-FLP). The designed basic VNS algorithm is implemented with carefully chosen neighborhood structures so the results would be best possible. The proposed VNS is tested on three data sets and the obtained VNS results are compared with results obtained by CPLEX and best results obtained by state-of-the-art Lagrangian relaxation heuristics from the literature. The presented computational analysis clearly indicates the potential of the VNS approach when solving USSMP-FLP, especially in the case of larger problem dimensions. Future work will be directed to hybridization of VNS with other heuristic or exact methods and its parallelization.

REFERENCES

- [1] Arabani, A.B., Farahani, R.Z., "Facility location dynamics: An overview of classifications and applications." *Computers & Industrial Engineering* 62(1) (2012) 408-420.
- [2] Hansen, P., Mladenović, N., Moreno Pérez, J.A., "Variable neighborhood search: methods and applications", *Annals of Operations Research*, 175(1) (2010) 367-407.
- [3] Krarup, J., Pruzan, P.M, "The simple plant location problem: survey and synthesis." *European Journal of Operational Research* 12(1) (1983) 36-81.
- [4] Mladenović, N., Hansen, P., "Variable Neighborhood Search", *Computers and Operations Research*, 24, (11) (1997) 1097-1100.
- [5] Nezhad, A. M., Manzour, H., Salhi, S. "Lagrangian relaxation heuristics for the uncapacitated single-source multi-product facility location problem", *International Journal of Production Economics*, 145(2) (2013) 713-723.



EMPIRICAL ANALYSIS OF THE BEE COLONY OPTIMIZATION METHOD ON 3-SAT PROBLEM

TATJANA JAKŠIĆ KRÜGER
Mathematical Institute SASA, Belgrade, tatjana@mi.sanu.ac.rs
TATJANA DAVIDOVIĆ
Mathematical Institute SASA, Belgrade, tanjad@mi.sanu.ac.rs

Abstract: *The satisfiability problem, especially 3-SAT, is crucial in computational complexity theory as it provides basis for determining complexity of other algorithms. The problem belongs to the class of NP-complete problems, therefore, it is usually solved by implementing heuristic methods. In this paper we explore the Bee Colony Optimization (BCO) algorithm for 3-SAT problem. We examine the efficiency of the proposed implementation by performing detailed parameter tuning. Our experimental evaluation shows that BCO can compete with a standalone WalkSAT heuristic.*

Keywords: *Combinatorial optimization, satisfiability problem, nature-inspired algorithms, swarm intelligence.*

1. INTRODUCTION

The propositional satisfiability problem (SAT) has the property that every other problem in NP can be polynomially reduced to it. This means that if we can solve SAT problem efficiently, then we can solve all other problems in NP efficiently as well. Therefore, the satisfiability problem is the hardest problem in the NP class [1]. Topic of this work is a variant of SAT problem, the so called 3-SAT problems. This consists of deciding if there exists an assignment (model) for all of the Boolean variables, such that 3-CNF formula F is true. 3-CNF means that clauses consist only of 3 literals. In the last decade a lot of sophisticated SAT solvers emerged, many of them developed as a result of SAT competition (www.satcompetition.org). The idea of a meta-heuristic implementation to 3-SAT problems emerged naturally, as the majority of solvers are heuristic methods. Moreover, the goal was to explore the advantage of working with population of solutions.

Bee colony optimization (BCO) is a nature-inspired population-based meta-heuristic method that has proved to be very efficient, being applied in wide portfolio of optimization problems. It was proposed by Lučić and Teodorović at the beginning of the 21st century [2]. The behaviour of bees while searching for food is suitable for modelling since the practice of collecting and processing nectar is highly organized. The first time BCO was used on SAT problems was in [3]. The problem originally belongs to probabilistic logic and was handled with sophisticated implementation, combining two heuristics.

Our main objective is to contribute to the development of efficient SAT solvers by implementing BCO algorithm to 3-SAT problem. We evaluate different BCO algorithms by comparing two evaluation functions. In addition, four

loyalty functions are proposed and their influence investigated. Advantage of the BCO model over standalone heuristics is that it offers certain reasoning when comparing different solution. In addition, the population serves to maintain knowledge about the search space. The rest of this chapter is organized as follows. The next section contains brief introduction into types of SAT solvers, together with a description of WalkSAT heuristic. In Section 3 we describe BCO method and its variant, BCOi, adjusted for 3-SAT problem. Description of experiments, benchmark set of problem instances and results are provided in Section 4. Conclusions are provided in Section 5.

2. SAT SOLVERS

New algorithms become more complex, having more parameters when compared with older SAT solvers [4]. We can distinguish so called *Conflict Driven Clause Learning* (CDCL) from *Stochastic Local Search* (SLS). The most general classification of SAT solvers is the one that differs *complete* and *incomplete search algorithms* [6](pg. 33). The complete search algorithms are also known as *systematic search algorithms* as they investigate the search space in systematic manner, thus being able to guarantee that the solution exists or not. As such, complete solvers can be used to rule out unsatisfiable instances. Complete solvers however can become inefficient on problem instances for which clause-to-variable ratio becomes higher (until reaching certain threshold). Incomplete solvers are known for their speed in finding solutions of satisfiable instances, especially for hard instances. Many incomplete solvers were developed on the top of previous versions, yielding state-of-the art solvers. However, they have serious drawback when dealing with unsatisfiable instances: they are not able to prove that these formulae cannot be satisfied.

2.1. SLS solvers

Meta-heuristic methods, implemented for dealing with SAT problems, can be recognized as incomplete SLS solvers. Almost all SLS solvers start with random assignment. The main goal is to direct the process of guessing variable values that would lead to a solution. The manner in which variable is chosen depict each heuristic. After the evaluation of the initial assignment, if all clauses are satisfied, work of the solver is done. Otherwise, one of the variables is selected and changed (flipped), and all corresponding data structures are updated and the new cycle of evaluation can start. Until today hundred of SLS solvers were developed, mostly based on improving previous ideas and by incorporating different data structures and other implementations tricks. Among vast number of them, general algorithms can be identified that are still basic part of most efficient SAT solvers, such as: (1) GSAT, (2) WalkSAT [5]. The simplest SLS algorithms are considered to follow uniform random walk paradigm.

2.2. Random Walk

A more elaborated version of simplest SLS algorithm implements what is known as *conflict-directed random walk* steps [6] (pg.269). The algorithm is based on selecting uniformly at random an unsatisfied clause, followed by a random selection of variable from this clause. The approach is also known as *Focused Random Walk*. Theoretical proof that such focused SLS solvers can solve 2-CNF problems in $O(n^2)$ steps was provided in 1991 [7]. A theoretical proof for a 3-CNF SLS solver was provided in [8], however, it requires restarts after $3n$ steps.

2.3. WalkSAT

Following the introduction of several SLS solvers in [5], the authors proposed different approach for selection of variables, so called WSAT (WalkSAT). Algorithm is considered to be a focused random walk algorithm since the first step after the initial assignment is to choose uniformly at random an unsatisfied clause. A variable from this clause is then picked either randomly or following a greedy rule. Greediness in WalkSAT is the same as the one in GSAT where the variable that leads to least number of unsatisfied clauses is favorized. Such characteristic is usually established by parameter $break(x)$ of variable x . Until today there are many version of WalkSAT. In Fig. 1 a pseudo-code of WalkSAT, as described in [5], is presented. The choice of variable inside of randomly picked unsatisfied clause depends on the value of parameter $break(x)$ and *noise parameter* p (usually set to 0.5).

3. SWARM INTELLIGENCE FOR SAT

The implementation of the BCO algorithm on 3-SAT problem was for the first time tackled here. In literature there exist a number of papers that have used nature-inspired algorithms to solve various SAT problems [3]. Among population-based, we found implementation of Marriage in Honey Bees Optimization Algorithm (MBO) to 3-SAT [9]. The author compared his results with WalkSAT and showed that MBO exhibit better performance. However, it can be demonstrated that different

```

Pick an unsatisfied clause C
FOR each variable x in clause C
  Calculate  $U := \text{MIN}_{x \in C} \text{BREAK}(x)$ 
  IF  $U=0$ 
    variable with  $\text{BREAK}(x)=0$  is flipped
  ELSE
    With probability  $p$ , pick a variable
    With probability  $1-p$ , repeat GSAT scheme

```

Figure 1: Pseudo-code of WalkSAT implementations of WalkSAT can lead to different performances, as they all are sensitive to types of structures used and other development tricks. This motivated us to uncover existing code, used as a state-of-the-art implementation <http://www.cs.rochester.edu/u/kautz/walksat/> (Version 51).

3.1. BCO Method

The first version of the BCO algorithm was developed as a constructive procedure, where each artificial bee is building a solution from scratch [2]. Later variant of BCO used modification of complete solutions, known as improvement BCO (BCOi) [10]. Both variants of BCO are based on engagement of a group of *artificial bees* (B individuals) in the search for optimal solution. The homogeneity of bees is being presumed, that is, all artificial bees are involved in foraging process in the same way. The search process is conducted through iterations, until some predefined stopping criterion is satisfied. An iteration of the BCO algorithm can be represented as a composition of two alternating phases: *forward pass* and *backward pass*. During the forward pass, all bees are exploring the search space by performing certain (predefined) number of moves to either construct the part of solution, or modify the existing one. During the backward pass, all bees share information about the discovered solutions. They pass through three stages: 1. Evaluation; 2. Loyalty decision; 3. Recruitment. The number of forward/backward passes during iteration is controlled by BCO parameter, NC . The number of moves in forward pass can be set provisory. The usual way to decide on bee's loyalty was to use the function (1). Recently, new loyalty functions were proposed and classified as *Class I* and *II* [11]:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & p_b^{0,u+1} = e^{-\frac{1-O_b}{u}} & (6) \quad p_b^{5,u+1} &= e^{-\frac{(1-O_b)\sqrt{u}}{\sqrt{u+1}}} \\
 (2) \quad & p_b^1 = e^{-(1-O_b)} & (7) \quad p_b^{6,u+1} &= e^{-\frac{1-O_b}{\log u}} \\
 (3) \quad & p_b^2 = O_b & (8) \quad p_b^{7,u+1} &= e^{-\frac{1-O_b}{u \log(u+1)}} \\
 (4) \quad & p_b^{3,n_{it}} = e^{-\frac{1-O_b}{n_{it}}} & (9) \quad p_b^8 &= e^{-2(1-O_b)} \\
 (5) \quad & p_b^{4,u+1} = e^{-\frac{1-O_b}{\sqrt{u}}} & (10) \quad p_b^{9,u+1} &= e^{-\frac{(1-O_b)\log(u+1)}{\log(u+2)}}
 \end{aligned}$$

Class I corresponds to functions of one parameter (O_b), and Class II are two variable functions: they depend on O_b and counter u or iteration counter n_{it} . The recruitment is performed in the usual way [2,11].

3.2. BCOi for 3-SAT

Improvement version of the BCO algorithm (BCOi) is based on the transformations of complete solutions in order to obtain the best possible final solution. At the initialization stage, one complete solution is assigned to each bee. During each forward pass bees modify some components of their complete solutions in order to enhance them. However, BCOi implementation for 3-SAT problem disregards a classical part of the execution: the re-initialization at the beginning of each iteration. Instead, it appoints an initial assignment to each bee once before the start of the search (Fig. 2). Without the classical re-initialization, the number of moves controlled by parameter NC , does not directly influence search trajectory of BCOi. The forward pass counter (u), (and consequently parameter NC), however, is used for calculating loyalty of each bee for Class II loyalty functions. In order to control the number of flips performed during the forward pass, new parameter NCT has been introduced. Usually, the number of improvements can be derived as a function of restriction imposed by the problem. For example, in [10] BCOi algorithm was used for solving of p -center problem. This problem imposed restrictions on the number of modifications in the forward pass: maximally the number of centre modifications can be performed. In case of 3-SAT such restrictions do not exist. The objective was to prohibit parameter NCT to exceed the minimal number of flips needed for standalone heuristic to solve a problem instance. Specifically, we have opted for the number of Boolean variables of the corresponding 3-SAT instance (n). For example, when dealing with 3-SAT problem with 100 variables, the BCOi algorithm was performing number of modifications within the range of [1,100].

3.3 Analysis of evaluation function

Two different evaluation functions were analyzed. First one exploits solely the number of unsatisfied clauses, denoted as $f_b^1 = numfalse(b)$, where parameter $numfalse(b)$ is defined for each bee b as the number of unsatisfied clauses. Second evaluation function, denoted as $f_b^2 = breakcount(b)$, exploits a decision step from WalkSAT to obtain a different perspective to quality measure, as a way of supporting the efforts of the heuristic. The evaluation function f_b^2 can be best described by Fig. 3 pseudo-code. In order to calculate values based on parameter $break$ one first needs to pick a variable. Therefore, we have concentrated the search onto those variables that belong to unsatisfied clauses. Then, for each of the three variables, minimal value of $break(x)$ is determined, thus imitating a step of walksat heuristic. The bee that would perform the next best move is marked as the best one. Of course, to define an evaluation function one could also consider other parameters such as $make$ or $score$ [5] or their combination, which was not investigated here.

4. EMPIRICAL ANALYSIS OF BCO

4.1 Problem instance and performance measure

Problem instances belong to the uniform random 3-SAT family that consists of randomly generated 3-CNF formu-

las [12]. For analysis of BCO, a set of instances with 100 variables and 430 clauses was used, provided in SATLIB library as *uf100-430*. The set originally consists of 1000 instances. To decrease total time of experiment and contribute do the reproducibility, we have opted for the first 100 instances (*uf100-01.cnf* – *uf100-0100.cnf*). Performance measure of the BCOi algorithm is the total number of flips (n_{flip}) needed to either solve the problem instance, or to reach the stopping criterion. It should be noted that n_{flip}

```

INITIALIZATION: Read input data.
Provide random assignments to each bee.
Do
(1) FOR (B = 0; B < B; B++)
    (a) FOR (I = 0; I < NCT; I++)
        (a.i) Flip the variable using a heuristic.
        (a.ii) IF (F(x) = TRUE) STOP.
(2) FOR (B = 0; B < B; B++)
    Evaluate the solution of bee B:
(3) FOR (B = 0; B < B; B++)
    Loyalty decision for bee B;
(4) FOR (B = 0; B < B; B++)
    IF (B not loyal )
        Choose a recruiter by roulette wheel.
Update  $X_{BEST}$  and  $F(X_{BEST})$ .
WHILE stopping criterion is not satisfied or solution found.
return ( $X_{BEST}$ ,  $F(X_{BEST})$ ).

```

Figure 2: Pseudo-code for BCOi

showed high variability with a change of *seed*, which is why each experiment was repeated 100 times. Therefore, parameter $N_{flip} = \max_{seed \in [1,100]} n_{flip}$, was used as a measure of success of an experiment. If for some *seed* BCOi did not succeed to find a model, the response value N_{flip} takes *MAXFLIPS* and the number of unsatisfied clauses is considered (n_{un}). It was also observed that time per iteration is constant during the execution.

```

FOR (B = 0; B < B; B++)
    Pick an unsatisfied clause C
    FOR each variable  $x \in C$ 
        BREAKCOUNT(B) =  $\min_{x \in C} BREAK(x)$ 

```

Figure 3: Algorithmic structure of the f_b^2

4.2 Experimental setup

The stopping criterion for all considered algorithms was controlled by setting maximal number of flips (*MAXFLIP*). All experiments were conducted on Blade cluster with processors Intel(R) Xeon(R) CPU E5649 @ 2.53GHz and 24GB RAM, gcc version 4.4.7. Implementation was done in C programming language. The number of independent runs was set to 100. The parameter space of BCOi is provided in Table 1. All values of parameter configurations are integers.

Table 1: Parameter space for BCOi

Parameter	Domain
<i>Evaluation</i>	<i>numfalse</i> , <i>breakcount</i>
<i>Loyalty function</i>	p_b^i , $i \in [0, \dots, 9]$, $b \in [1, \dots, B]$
<i>B</i>	[1,7]
<i>NC</i>	10k, $k \in [1,6]$
<i>NCT</i>	[1,n]

Parameter n represents the number of Boolean variables. The number of bees was small due to the expected overhead caused during an exchange of information in backward pass. The choice of values of other quantitative BCO parameters was adjusted so that the time to run all

tests was less than a week, while trying to cover different regions of parameter space. Values of NC are taking discrete steps, while the maximal value has been determined by observing analytical expressions of loyalty functions. Actually, after NC reaches 60, measured outcomes for different loyalty functions lead to similar conclusions. The maximal value of NCT was set to n , to avoid situations in which solution is found before recruitment process has begun. Value of parameter $MAXFLIP$ was set to 10^5 , based on set of pilot studies conducted prior to this work,

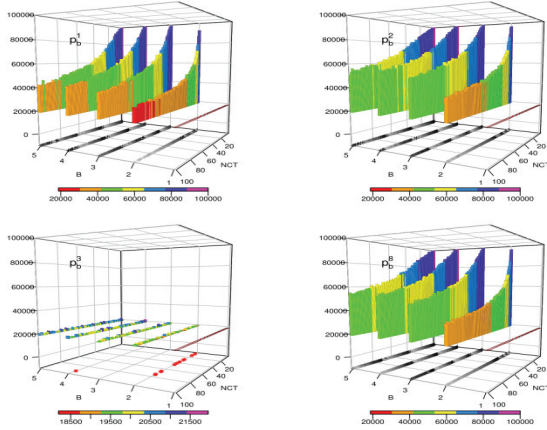


Figure 4: Results for f_b^1 .

so that all problem instances are solvable by the standalone WalkSAT algorithm on the same computer system. More-over, its value is evenly distributed among engaged bees. This means that increasing the number of bees decreases the maximal number of flips they have in order to solve given problem instance.

4.3 Results

Due to the space restrictions, the results of BCOi performance are illustrated for Class I functions and p_b^3 loyalty function. For the rest of Class II, the results are omitted. Fig. 4 and 5., represent the average value of N_{flip} ($N_{av.f}$) for all problem instances, and different BCOi parameter configurations. In Fig. 4 and 5., each colour of the bar corresponds to different value of $N_{av.f}$. The reference case of performance of WalkSAT is shown when $B=1$, and was used as a starting point from which bars are constructed. In case BCOi found solutions to all 100 instances, and was better than the WalkSAT, on the B - NC plane a red circle is used. When in average BCOi did not provide solutions for all problem instances, colors ranging from white to black describe the quality of the response. The quality of response corresponds to average number of unsatisfied clauses. Fig.4 provides information about the success of evaluation function f_b^1 and four loyalty functions of Class I. Loyalty function p_b^3 was the most successful when compared with functions p_b^1 , p_b^2 , p_b^8 . In order to provide better performance, another evaluation function was used and results presented in Fig. 5. Here, all BCOi algorithms exhibited better performance, as all needed smaller number of flips to find a model. Again, loyalty function p_b^3 was the most successful. It solved 3-SAT instances with less total number of flips, however in the same amount of time as the standalone WalkSAT algorithm. It could be interesting to mention that the WalkSAT algorithm needed in average 0.0016s to solve all 3-SAT

instances, while for the best reported results in Fig. 4 and 5., in average 0.0019s was needed by p_b^3 when $B=2$.

5. CONCLUSION

In this paper we have tested two evaluation functions and compared four BCOi algorithms with regard to choice of loyalty functions. The results show that the most influential parameter was evaluation function, and that incorporating knowledge used in the WalkSAT heuristic has provided better results compared with *numfalse* evaluation

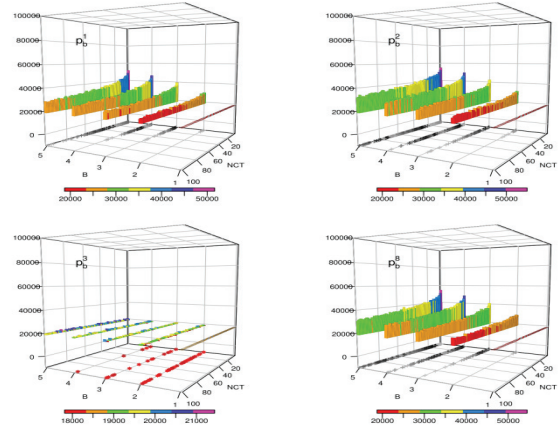


Figure 5: Results for f_b^2 .

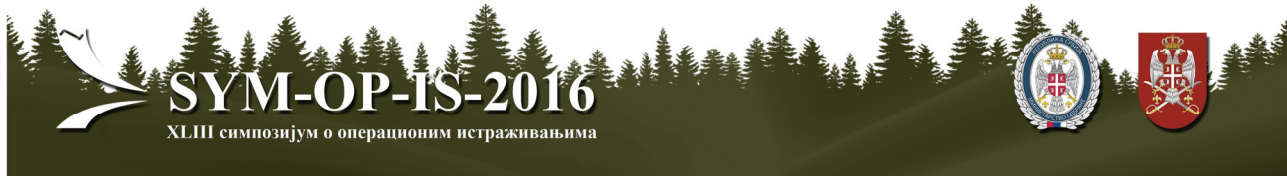
approach. The future work should analyze different mechanism of implementing collected knowledge, such as *make*, *score*, *age* into the evaluation process.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Garey, M. R., Johnson, D. S., *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W. H. Freeman and Company, 1979.
- [2] Lučić, P., Teodorović, D., “Bee system: modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence”, In *Prepr. of the TRISTAN IV*, (2001), 441-445.
- [3] Stojanović, T., Davidović, T., Ognjanović, Z., “BCO for the satisfiability problem in probabilistic logic”, *Appl. Soft Comput.*, 31 (2015), 339-347.
- [4] Balint, A., Biere, A., Fröhlich, A., Schöning, U., “Improving implementation of SLS solvers for SAT and new heuristics for k-SAT with long clauses”, In *Lect. Notes Comput. Sci.*, 8561 (2014), 302-316.
- [5] Selman, B., Kautz, H. A., Cohen, B., “Noise strategies for improving local search”, In *Proc. of AAAI'94*, 94 (1994), 337-343.
- [6] Hoos, H. H., Stützle, T., *Stochastic local search: Foundations & applications*, Elsevier, 2005.
- [7] Papadimitriou, C. H., Yannakakis, M., “Optimization, approximation, and complexity classes”, *J. Comput. Syst. Sci.*, 43(3) (1991), 425-440.
- [8] Schöning, U., “A probabilistic algorithm for k-SAT and constraint satisfaction problems”, In *Proc. of FOCS'99*, (1999), 410-414.
- [9] Abbass, H. A., “MBO: Marriage in honey bees optimization-A haplometrosis polygynous swarming approach”, In *IEEE C. Evol. Computat.*, 1 (2001), 207-214.

- [10] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., Teodorović, D., “Bee colony optimization for the p -center problem”, *Comput. Oper. Res.*, 38(10) (2011), 1367-1376.
- [11] Jakšić Krüger, T., Davidović, T., “Sensitivity analysis of the Bee Colony Optimization Algorithm”, In *Proc. of BIOMA'16*, (2016), 64-80.
- [12] Hoose, H. H., Stützle, T., “SATLIB: An Online Resource for Research on SAT”, In *SAT2000: Highlights of Satisfiability Research in the Year 2000*, (2000), 283-292.

ЛОГИСТИКА



HYBRID HEURISTICS FOR THE TWO LEVEL LRP IN RECYCLABLES COLLECTION

MILORAD VIDOVIĆ, BRANISLAVA RATKOVIĆ, NENAD BJELIĆ, DRAŽEN POPOVIĆ
University of Belgrade, Faculty of transport and traffic engineering Belgrade, Serbia
m.vidovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Designing the most appropriate collection system for recyclables besides defining effective schedules and routes of collection vehicles assumes carefully chosen containers' locations, as well as optimal locations of transfer stations and/or treatment facilities. From there, designing efficient and cost effective collection system, leads to the class of location routing problems (LRP). However, although the basic problem types are very complex, LRP in the case of recyclables collection can be even more complicated because of two echelon nature of the collection system. In this research we propose hybrid heuristics to solve this two echelon LRP. Proposed approach is based on the idea of successive solving location-allocation, and routing part, employing hybrid model composed of heuristics and mathematical programming models. Performances of the proposed hybrid heuristics are tested on different test instances.*

Keywords: *Reverse logistics, two level LRP, heuristics*

1. INTRODUCTION

The location-routing problems (LRP) merges facility location and vehicle routing, joining strategic location and tactical/operational routing decisions. This integrated approach offers possibility of obtaining much better solutions than in the case of partial optimization those two sub problems. Possible application area is very wide and covers both, forward supply chains as well as reverse logistics and the closed loop supply chains, making them closer to real-life applications. The idea of simultaneously considering location and routing problems dates back to '60 [1], while accordingly to [2], LRP problems have been studied since late 70s. Earlier survey was published in [3], while the most recent can be found in [4].

An important application area of LRP problems class is reverse logistics, because setting up an appropriate network has a fundamental impact on the economic viability and possibility of successful recovering value from used products. Even the simplest recycling network needs to define how to collect recoverable products from the former user, and where to re-process collected products. In case when collection process assumes visiting several users in the same route, answer to the above questions leads to solving the LRP.

The success of recycling systems is related, also, to the end users' participation, which means that waste collection bins should be easily accessible and convenient for end users. This fact refers to the necessity of locating not only re-processing facilities, but also collection bins. From there, establishing of the recyclables collection network can be easily recognized as a type of the two echelon location routing problem (2E-LRP). The location part of the model includes decisions on the positioning of

collection points at the 2nd level of the network and transfer stations at the 1st level of the network. In this paper which is oriented to the collection processes in urban areas where end users live in city blocks, the routing part of the model at the 1st level of the network includes blocks visited in the single route, and a routes visiting collection points at the 2nd level. Research on the 2E-LRP is still scarce [5]. The 2E-LRP, has been formally introduced in Boccia et al. [6] where the authors study the problem of designing a two-echelon freight distribution system in which the location of two types of facilities (depots and satellites), the vehicle fleet size and the routes belonging to the two echelons have to be simultaneously optimized. In the context of reverse logistics LRPs are mostly related to hazardous waste management, while 2E-LRPs almost can't be found. In our best knowledge there is only one research related to this field presented in [7].

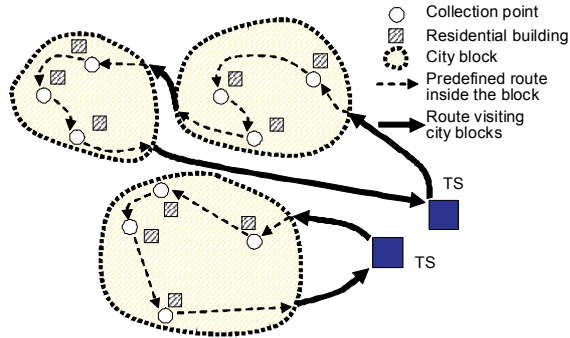
Hence, the main contribution of the paper is in building efficient heuristics to solve large problem instances of 2E-LRP in reverse networks.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 presents the problem statement, while the Section 3 presents a proposed heuristic solution approaches. Sets of test examples and its solutions are presented in Section 4, and finally Section 5 concludes the study.

2. PROBLEM STATEMENT

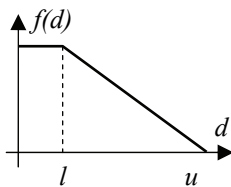
In this paper we consider the design of two-echelon reverse logistics network with profit typical for large cities where residents live in city blocks. The recyclables generation nodes are buildings in a city blocks where end users live in, and from where they bring recyclables to

collection points (CPs) which represent 2nd level of the network. Collected recyclables are then transported to transfer stations (TSs) at the 1st network level (Picture 1).



Picture 1: Structure of the 2E reverse logistics network

In a city blocks, a vehicle visits internal streets following optimal internal tour known in advance, whose length does not depend on the number of opened CPs. To serve users demand along inner streets it should be located adequate number of CPs for recyclables collection. The number and locations of CPs is determined by the objective of maximizing profit calculated as a trade-off between CPs opening costs and the revenue earned, which makes location part of the problem on the 2nd level of the network. Mentioned trade off is based on the fact that the willingness of end users to participate in recyclables collection is closely related to the distance between a place of living and collection point, in sense that lesser distance to CPs means higher collection rate. To model the influence of the distance between end users and CPs we assume that the recyclables collection rate, $f(d)$ is a known linear function of distance. Also, although internal routes in city blocks are known in advance, impact of the number of CPs on collection vehicles costs can't be neglected, since the larger number of CPs opened lowers average speed and induces longer travel times and accordingly higher transportation costs.



On the 1st level in the locating part of LRP we consider a set of potential locations for TSs, which are characterized by costs of opening. The vehicles start from the TSs and perform a route to collect recyclables from the city blocks. Routing costs for the 1st network level include travel costs from TSs to city blocks visited in the same route, and the costs of internal tours which comprise impact of longer travel times resulting from vehicles' stops at opened CPs locations.

Therefore, the problem of design recyclables collection network is considered here as a specific kind of 2E-LRP, where the routing part of the problem on the second level, that corresponds to users walking costs, is not considered explicitly. Instead, to define number and locations of CPs we employed collection rate, and impact of the number of opened location to transportation costs. Another specificity of the proposed approach is in possibility of

considering entire blocks as network nodes to be visited by collection vehicles. Moreover, because the quantity of recyclables collected in a city block is quite large, due to the limited capacity, vehicle visits only a small number of city blocks, usually up to four, which gives opportunity to solve the routing part of the problem as a multiple matching.

3. HEURISTICS TO SOLVE 2E-LRP IN RECYCLABLES COLLECTION

The problem described in the previous section can be formulated as a MILP model as it is shown in [7]. However, due to its complexity, the model is able to solve to optimality only smaller instances which are usually far from the real world recycling networks. Hence, to overcome the problem, heuristic solution method seems to be only possible approach to solving medium- and large-size problems that correspond to real world applications.

As it is formulated in [8], "in state space search, heuristics are formalized as rules for choosing those branches in a state space that are most likely to lead to an acceptable problem solution". Nowadays, with the exceptional development in the computer hardware and computing power, heuristics became the main tool to solving different real world problems. Some of traditional heuristics approaches experience new renaissance, while different metaheuristic approaches become prevailing method in problem solving. Since the choosing, building and adjusting heuristics to the certain application probably represents the most intriguing and the most complex and time consuming part in the research process. Having that in mind, in this paper we present few heuristics developed to solve 2E-LRP in recyclables collection, based on the idea of hybridization of traditional simple heuristics approaches, like greedy algorithm, and some of relaxed MILP optimal formulation.

Different heuristic methods for solving LRP can be found in the literature. One can find bundle of literature about that topic and to the interested reader we suggest [7], where is given relatively comprehensive list of papers corresponding with this topic.

The heuristic approaches proposed here are based on the idea of simplifying and relaxing the model given in [7] by separately considering CPs location-allocation problem on the second level, and the location and routing part at the first level. This has been done by employing three main ideas in the CPs location - allocation part of the heuristics:

- The Dikb concept: Opening CPs based on the minimal average distance to all end users in a city block
- The Zikb concept: Opening CPs based on the maximal collected quantity of recyclables from all end users in a city block, where collected quantity depends on the distance between users and CPs
- The GAP concept: Opening CPs based on the solution of the General assignment model with the objective of

collecting all available quantity of recyclables in the smallest possible number of CPs

Among those concepts, at the beginning of our research we also analyzed single and multiple assignment of users to CPs. However, later, we've decided to keep opportunity of multiple assignment.

All heuristics include two main phases. In the first phase by greedy algorithm is determined set of CPs and their locations, and then end users allocation and collected quantity of recyclables. The second phase determines optimal routes of collection vehicles that visit city blocks as well and TSs locations for each of the location configurations obtained during the location phase.

The first phase comprises two main steps:

- determination of the number and locations of CPs to be opened in each city block
- users allocation and collected quantity determination

Number of CPs locations is determined as ratio between the total available quantity of recyclables generated from all end users and the capacity containers located at CPs. It is assumed that all containers have the same capacity. To define specific locations to be opened we construct different greedy heuristics, based on three previously mentioned concepts (Dikb, Zikb, GAP). Hence, locations to be opened are those with the largest values of the criterion used in certain heuristic development concept. However, in order to widen searching space, we considered not only one, but several configurations a certain city block, varying number of CPs locations in the range of $\pm\delta$, where the value of δ we analysed was up to two. Those city block's configurations we considered than as a block's copies, in the same time increasing the problem dimensions and complexity. For example, when original problem instance has 20 blocks, by making copies of original blocks, new problem instance increased to 100 blocks. Allocation of end users to CPs, and collected quantity of recyclables determination, in all developed heuristics concepts, was the same, and based on solving the following model.

$$\text{Max} \sum_i \sum_k X_{ikb} \quad (1)$$

$$X_{ikb} \leq Z_{ikb} \quad \forall i \in I_b \quad \forall k \in C_b^{\text{No_collection_points}(b)} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I_b} X_{ikb} \leq Q_{ib}, \quad \forall k \in C_b^{\text{No_collection_points}(b)} \quad (3)$$

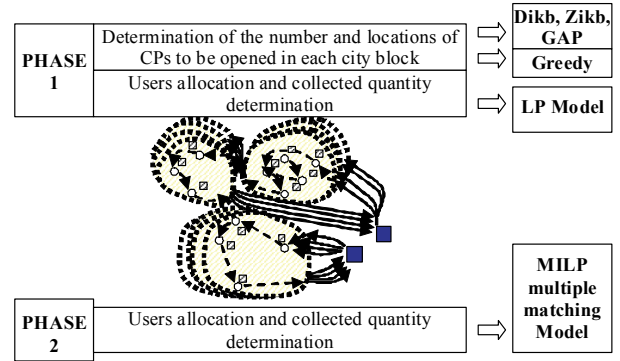
$$\sum_{k \in C_b^{\text{No_collection_points}(b)}} X_{ikb} \leq Q_{ib}, \quad \forall i \in I_b \quad (4)$$

$$X_{ikb} \geq 0 \quad (5)$$

In the model (1)-(5) X_{ikb} denotes the fraction of recyclables brought from the i -th end user to k -th CP in a city block b , while Z_{ikb} denotes collection rate for the known distance between i -th end user and k -th collection point in a city block b . Q_{ib} denotes available quantity of recyclables, I_b set of users in block b , and $C_b^{\text{No_collection_points}(b)}$, set of CPs in block b .

The second phase was devoted to finding optimal routes of collection vehicles, and locating TSs. For this part of the heuristics the network comprised "original blocks" and all their "copies". To solve the LRP on the first level, we employed multiple matching MILP formulation, analyzing all possible matching's of up to four city blocks. Details of the multiple matching MILP formulation can be found in [7].

Heuristics approaches to solve 2E-LRP in recyclables collection are resumed in the form of a block diagram given in the Picture 2.



Picture 2: Structure of the 2E reverse logistics network

From the experience obtained through performing numerous experiments, we learned that analyzed concepts perform different. Even for relatively small problem instances GAP concept couldn't solve them, probably because of cumulative impact of multiple LP models needed to be solved. On the other side, Dikb and Zikb behave very good, both delivering good results in relatively short time. However, the Zikb concept based heuristics outperforms Dikb concept, and this was the reason that we finally decided to use only Zikb concept based heuristics. Also, since in the solving procedure we employ multiple solving MILP models that were solved by Python 2.7 CPLEX API, surprisingly, crucial problem was related to the CPLEX API itself, because of variables encryption code position which was appeared as the main factor affecting total solution time. It is also worthwhile to be mentioned here that this problem isn't documented well nor discussed on forums, although it is very important.

4. NUMERICAL EXPERIMENTS

To test the proposed heuristics we have generated three sets of different problem instances: small size, medium and large size, which are randomly generated because we didn't find any benchmark instance appropriate for the 2E-LRP considered here. Characteristics of generated test instances are chosen to correspond to real world systems in case of the Republic of Serbia.

By applying mentioned MILP model [7], we solved to optimality mostly small instances. The model was implemented in Python 2.7, and solved with CPLEX 12.6 API on Intel(R) Core(TM) i5-4200U (2.30 GHz, RAM 8Gb). Optimal results were used to estimate performances

of proposed heuristics concepts, and then to provide solutions of large size instances which is then realized by using Zikb concept based heuristics. Results can be estimated as very good, regarding both, solution time and solution quality, i.e. deviation from the optimal value. The average error is up to 1%, with maximum relative error we found of 2.72% [7].

It is very interesting to present and analyze performances of all three proposed heuristic solution concepts, and to make mutual comparison. As an illustration, which is very instructive regarding performances of proposed heuristics concepts in Table 1 we present results of solving 10 smaller size instances, because larger instances couldn't be solved at all by GAP based heuristics. All instances have four city blocks, average number of users per block vary from 10 to 19, number of CPs per block is between 11 and 20, and recycling process can operate through two potential TS locations. Note, in our heuristics development concept, those four blocks are mapped to 20 blocks copies.

Table 1: Performances of heuristics concepts analyzed

Inst.	Obj. funct. - MAX (mon. units)			Solving time (sec)		
	Dikb	GAP	Zikb	Dikb	GAP	Zikb
1	22.49	7.33	25.05	0.797	0.906	1.090
2	40.57	-	43.19	1.047	-	0.969
3	38.72	-	50.18	1.468	-	0.953
4	25.24	-	27.70	0.872	-	1.450
5	20.32	-	26.33	0.860	-	0.986
6	27.70	-	41.21	1.313	-	1.171
7	23.09	5.69	23.09	3.439	1.266	4.355
8	33.87	-	40.22	1.101	-	1.030
9	31.29	10.16	31.67	2.549	1.351	3.688
10	25.70	-	26.48	0.997	-	1.219

As it can be seen from the Table 1, Zikb always delivers better solutions, which are in the average 12.355% better than solutions obtained by applying Dikb concept. However, in six experiments shown in the table, Zikb has 24.94% bigger solution time, while in four experiments, solution time was 20.28% lesser. Similar behavior those heuristics concepts keep for large size instances, of course, with much longer solution times. For example, solving one typical large instance of 15 blocks took 283.31 sec with Zikb, and 44.35 sec with Dikb based heuristics concept. In the same time, objective functions were 140.27, and 122.14 respectively.

5. CONCLUSION

In this paper we consider the design of two-echelon reverse logistics network with profit typical for large cities where residents live in city blocks.

To solve the problem we proposed three heuristics concepts: Dikb, Zikb and GAP, all based on the idea of simplifying and relaxing the optimal model formulation

given in [7]. The idea includes separately considering CPs location-allocation problem on the second level, and the location and routing part at the first level.

Based on the experience obtained through performing numerous experiments, we learned that analyzed concepts perform different, and that the GAP concept isn't promising. On the other hand, Dikb and Zikb are found to be relatively good concepts, where Zikb always outperforms the Dikb. Therefore, to analyze and solve 2E-LRP in reverse logistics we used Zikb concept based heuristics.

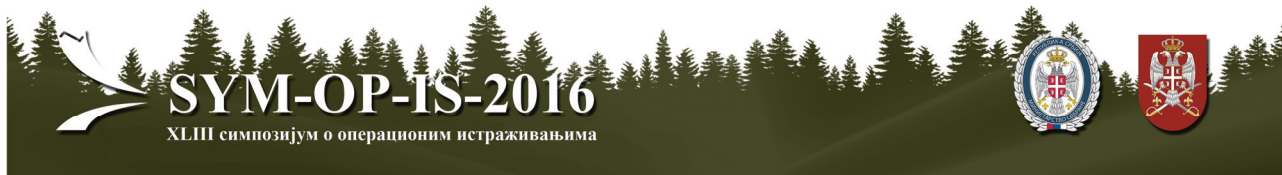
The most logical extension of this research is in development some of advanced metaheuristics approaches which can help in final estimation of the Zikb concept proposed here. In the same time, metaheuristic approaches could be further adjusted to the characteristics of the real world reverse logistic systems of this class.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was partially supported by Ministry of Education, Science and Technological Development Republic of Serbia, through the project TR 36006, for the period 2011-2016.

REFERENCES

- [1] Maranzana, F.E." On the location of supply points to minimize transport costs", *Operational Research Quarterly*, **15** (1964), 261-270.
- [2] Laporte, G., "Location-routing problems", In: *Vehicle routing: Methods and studies*, (B.Golden, and A.Assad., eds) Amsterdam: North-Holland, 1988, 163-198.
- [3] Balakrishnan, A., Ward, J., and Wong, R., "Integrated facility location and vehicle routing models: Recent work and future prospects", *American Journal of Mathematical and Management Sciences* **7** (1987), 35-61.
- [4] Prodhon, C., Prins, C., "A survey of recent research on location-routing problems", *European Journal of Operational Research*, **238** (2014) 1-17.
- [5] Nguyen, V.P., C., Prins, C., Prodhon, C., "Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking", *European Journal of Operational Research*, 216 (2012) 113-126.
- [6] Boccia, M., Crainic, T. G., Sforza, A., & Sterle, C.. "Location-Routing Models for Designing a Two-Echelon Freight Distribution System", *Cirrelt*, 2011
- [7] M. Vidović, B. Ratković, N. Bjelić, D. Popović, "A two-echelon location routing model for designing recycling logistics networks with profit: MILP and heuristic approach", *Expert Systems With Applications* Vol. 51, (2016), pp. 34-48
- [8] G.F. Luger: *Structures and Strategies for Complex Problem Solving*, Fifth edition, Addison Wesley, 2005



EVALUATION IN LOGISTICS USING COMBINED AHP AND EDAS METHOD

ŽELJKO STEVIĆ

University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Doboj, zeljkostevic88@yahoo.com

ILIJA TANACKOV

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, ilijat@uns.ac.rs

MARKO VASILJEVIĆ

University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Doboj, drmarkovasiljevic@gmail.com

SLAVKO VESKOVIĆ

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, veskos@sf.bg.ac.rs

Abstract: All cities of today are facing the same problems with negative impact on the environment. Most common problems of urban areas are: emissions of damaging gases and particulates, noise, vibrations, street network jamming, damage to infrastructure, etc. To minimize the negative impact and to solve the problems mentioned above, emphasis is on conceptual designs of city logistics. However, the use of only one conceptual design is not enough, therefore it is necessary to form scenarios consisting of a combination of conceptual solutions. The aim is to establish and rank scenarios of city logistics based on research commenced in the city of Doboj. For scenarios ranking, most often multi-criteria analysis methods were used, as is the case in this study, where an AHP (Analytical Hierarchy Process) gives values for criterias by which established scenarios are being ranked using the EDAS method. By selecting a certain scenario, it is possible to increase the efficiency of the entire system of city logistics, and thus to affect the improved quality of living in an urban area.

Keywords: AHP method, City logistics, EDAS method.

1. INTRODUCTION

Concept of urban areas was firstly discussed during 1986 [2], when Fridman gave some the initial ideas, over [8, 9] when Sassen began certain researches in city logistics area, until today. Various authors are pointing problems arising in urban areas as well as those problems' negative impacts. Among the biggest problems today is the relationship with the nature and methods of environmental protection. Cities today represent places which greatly pollutes our environment, what is confirmed in [10], and therefore, through certain strategies and regulations people are trying to reduce that negative impact. When it comes to supply chain, it must be optimised from the point of expenses, time and quality, in the way which is not endangering the sustainable development. In order to solve or minimize the problems that occur in urban areas conceptual solutions that are described in detail in [12, 13] are used. In most cases, selection of certain conceptual solutions of city logistics does not represent a solution to created problems, so it is necessary to perform a combination of some conceptual solutions and establish a scenario of city logistics. Depending on the specific situations or specific urban areas and the size of problems, particular scenarios of city logistics are formed, out of which optimum is chosen. Each city initiates different problems, different functions, has a different geographical position comparing to the other, so if one scenario is optimal for one city, that does not mean it will be optimal for another. During the forming scenarios of city logistics, it is necessary to:

make a description of each, indicate the advantages, disadvantages, establish criteria and make evaluation.

2. CREATION OF SCENARIO FOR CITY LOGISTICS

Formed scenarios in accordance with the possibilities and the development of city logistics Doboj are as follows: Scenario 1 - logistics centers, concept of cooperative logistics systems, regulative concept; Scenario 2 - logistics centers, concept of orientation on eco-friendly vehicles, concept of concentration of information flows; Scenario 3 - logistics centers, concept of orientation on eco-friendly vehicles, bicycles; Scenario 4 - logistics centers, concept of concentration of information flows, regulative concept.

Scenario 1 involves a combination of the following conceptual solutions of city logistics: logistics center, cooperative logistics systems and regulatory concept of city governments. This scenario applies to the cooperation of certain transport companies and consolidation of cargo flows through the logistics provider which in this case is a logistics center with certain regulations which may be applicable in a given area, such as prohibition of entry for certain delivery vehicles, prohibition of entry for delivery vehicles in certain zones in the given time interval. The formation of this scenario tends to reduce the number of vehicle kilometers, the number of delivery vehicles and to prohibit the entry of commercial vehicles in certain zones of the city. In this way, the aim is also to satisfy the social

criteria (quality of life) and more sustainable urban transport.

Advantages:

- Reduce of negative impact on environment in certain city zones,
- Reduce the number of freight vehicles in certain time intervals,
- Highest form of merchandise consolidation.

Disadvantages:

- Mutual distrust among certain transport companies,
- Ecological pollution is still present.

Scenario 2 - is a combination of a logistics center with the concept of focusing on eco-friendly vehicles and the concept of concentration of information flows. This scenario represents the delivery of goods in the urban area of ecological vehicles with the concept of information flows. Scenario involves the orientation towards usage of electric or hybrid vehicles (combination of electric drive and combustion engines) since their use in terms of geographical location of the city and traffic connections is justified and this criterion has a satisfactory base in terms of ecological criteria. This scenario may involve the application of intelligent transport systems enabling easier movement of delivery vehicles.

Advantages:

- The convenience of knowing about the movement of cargo at any time thanks to the timely information,
- Reducing the negative influence on urban area,
- Reduced number of freight vehicles in the city center.

Disadvantages:

- Huge investments (expensive eco-friendly vehicles + expensive IS implementation),
- Long period for implementation of entire IS.

Scenario 3. This scenario is quite similar to the previous one. The only difference is in the third conceptual solution that this time refers to the concept of city bikes. After the consolidation of goods in the logistics center, it is being dispatched further in ecological vehicles. Hybrid vehicles can be used for transport towards the urban zone of Doboj because it's relatively small. Urban center can be served by city bikes when it comes comes to delivery of smaller size. This scenario is best reflected through the ecological criteria, ie. negative impact on the environment is minimized, and there are also good indicators from the aspect of a simple approach to generators primarily due to the use of city bikes.

Advantages:

- improved living conditions,
- reduced congestion of street network,
- reduced energy consumption,
- simple and easy parking,
- elimination of traditional delivery vehicles.

Disadvantages:

- requires huge investment,
- inability to consolidate all the goods, so part of supply must go in the traditional manner.

Scenario 4. This last scenario involves a combination of a logistics center with the concept of concentration of information flows with specific regulations that apply to certain parts of the city. Thanks to the concept of information flows, routing of delivery vehicles is facilitated due to the right information at the right time.

Advantages:

- the convenience of knowing the movement of cargo at any time thanks to the timely information,
- reduced negative impacts on the environment in certain areas of the city,
- reduced number of trucks at certain time intervals.

Disadvantages:

- requires huge investment,
- delivery vehicles with negative impact on the environment are still entering the city.

3. AHP METHOD

The creator of analytic hierarchy process was Thomas Saaty [6] and, according to the same author AHP is a theory of measurement by pairwise comparisons and relies on the opinion of experts to derive priority scales. With AHP it is possible to identify the relevant facts and connections that exist between them. This method consists of the decomposition of problem, where the objective is at the top, then the criteria and sub-criteria and at the end are the potential solutions. In [7] defined the axioms which the AHP is based on: the reciprocity axiom, homogeneity axiom, dependency axiom, expectation axiom. Any change in the structure of the hierarchy requires re-computation of priorities in the new hierarchy.

Some of the key and basic steps in the AHP methodology is given in [11]. AHP in a certain way solves the problem of subjective influence of the decision-maker by measuring the level of consistency (CR) and notifies the decision maker thereof. If the level of consistency is in the range up to 0.10, the results are considered valid. This coefficient is recommended depending on the size of the matrix, so we may find in the papers [1, 5] that the maximum allowed level of consistency for the matrices 3x3 is 0.05, 0.08 for matrices 4x4 and 0.1 for the larger matrices. If the calculated CR is not of the satisfactory value, it is necessary to repeat the comparison to have it within the target range.

4. EDAS METHOD

EDAS method was developed by Keshavarz Ghorabae et al. [4] for multi-criteria inventory classification. The steps for using the EDAS method are presented as follows:

Step 1: Select the most important criteria that describe alternatives.

Step 2: Construct the decision-making matrix (X), shown as follows:

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

where X_{ij} denotes the performance value of i th alternative on j th criterion.

Step 3: Determine the average solution according to all criteria, shown as follows:

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (2)$$

where,

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \quad (3)$$

Step 4: Calculate the positive distance from average (PDA) and the negative distance from average (NDA) matrixes according to the type of criteria (benefit and cost), shown as follows:

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} \quad (4)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} \quad (5)$$

if j th criterion is beneficial,

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (6)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (7)$$

and if j th criterion is non-beneficial,

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (8)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (9)$$

where PDA_{ij} and NDA_{ij} denote the positive and negative distance of i th alternative from average solution in terms of j th criterion, respectively.

Step 5: Determine the weighted sum of PDA and NDA for all alternatives, shown as follows:

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij} \quad (10)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij} \quad (11)$$

where w_j is the weight of j th criterion.

Step 6: Normalize the values of SP and SN for all alternatives, shown as follows:

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (12)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)} \quad (13)$$

Step 7: Calculate the appraisal score (AS) for all alternatives, shown as follows:

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i) \quad (14)$$

where $0 \leq AS_i \leq 1$.

Step 8: Rank the alternatives according to the decreasing values of appraisal score (AS). The alternative with the highest AS is the best choice among the candidate alternatives.

In [3] it was developed and expanded fuzzy EDAS method, which is based on the trapezoidal numbers.

5. EVALUATION OF CITY LOGISTICS SCENARIO

Based on the review of given advantages and disadvantages of certain scenarios criterias for their evaluation are formed, as follows:

Criteria 1 - Ecological and energetic aspect (degree of negative impact and energy consumption. It needs to be minimized). When it comes to this criterion in the world over the past two decades, and especially during the few recent years environment protection and energy consumption are increasingly taken into account. Therefore, this criterion appears as inevitable in the execution of certain studies. It is particularly suitable in terms of city logistics, since cargo deliveries are causing great pollution and high energy consumption. There are certain standards when it comes to maximum allowed emissions in urban areas, noise, vibrations etc. During the research of city logistics these standards are representing an important segment.

Criteria 2 - Investments in the development and construction of the necessary systems (also needs to be minimized). One of the most important criteria during research and analysis are investments, and research is inconceivable without taking this criterion into account. Costs are integral part of any business system. When the city logistics evaluates certain scenarios this criterion plays huge role, because functioning of the logistics system still depends on the total investment, and so do conceptual solutions of city logistics.

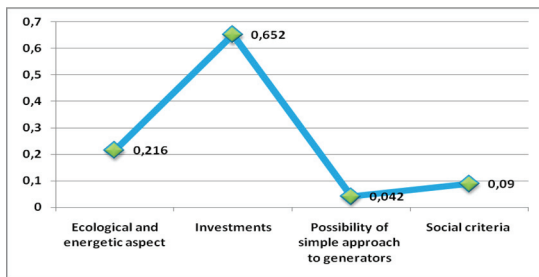
Criteria 3 - Possibility of simple approach to generators (need to be maximized). This criterion includes the ease of maneuvering the delivery vehicle directly in front of the generator to which goods should be delivered. Maximization of this criterion involves minimizing the delivery vehicles size, ie. smaller delivery vehicle has easier access to generators.

Criteria 4 - Social criteria (to maximize). It refers primarily to the quality of life, and this is achieved by reducing the congestion of the street network, the number of accidents, etc. After setting a hierarchy of AHP methods, criterias are compared with each other on the base of Saaty's Scale, Table 1.

Table 1. Comparison criteria

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	5	7	3
C ₂	1/5	1	9	7
C ₃	1/7	1/9	1	3
C ₄	1/3	1/7	1/3	1

The weight criteria have great influence on the final decision about alternative's ranking. Table 1 shows the comparison criteria based on which criterias are getting their importance, as shown in the figure below.



Picture 1. Normalized weights of criteria

Previous image clearly shows that, when comparing the criterias, greatest importance is given to another ie. capital investments what logically represents a good solution, considering all compared criteria's. Software provides certain value based on which certain criterion differs from others, so in this case C₂ has a much greater significance in relation to the other with a value of 0.652, while the next most important is environmental and energetic aspect whose value is 0.216 and so on.

After the weight value criteria is obtained, scenarios are being evaluated using the EDAS methods. Following is the procedure for the evaluation on the base of formula given in the above methods description.

Initial matrix is:

$$X = \begin{bmatrix} 5 & 1 & 2 & 4 \\ 3 & 7 & 4 & 5.5 \\ 1 & 5.5 & 7 & 7 \\ 4 & 4 & 2 & 4 \end{bmatrix} \quad (15)$$

The average solution according to all criteria using equations (3) is:

$$AV = \begin{bmatrix} 3.25 \\ 4.375 \\ 3.75 \\ 5.125 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Using equations (6-9) is obtain the positive and negative distance of i th alternative from average solution in terms of j th criterion, respectively.

$$PDA = \begin{bmatrix} 0 & 0.771 & 0 & 0 \\ 0.077 & 0 & 0.067 & 0 \\ 0.692 & 0 & 0.867 & 0.366 \\ 0 & 0.086 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$NDA = \begin{bmatrix} 0.538 & 0 & 0.467 & 0.219 \\ 0 & 0.6 & 0 & 0.024 \\ 0 & 0.257 & 0 & 0 \\ 0.231 & 0 & 0.467 & 0.219 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Using equations (10-14) is obtain the appraisal score (AS) for all alternatives:

$$AS_1 = \frac{1}{2}(1 + 0.603) = 0.801$$

$$AS_2 = \frac{1}{2}(0.04 + 0) = 0.02$$

$$AS_3 = \frac{1}{2}(0.439 + 0.572) = 0.505$$

$$AS_4 = \frac{1}{2}(0.111 + 0.771) = 0.441 \quad (19)$$

The last step is the ranking of alternatives and in this case using the EDAS method of ranking is as follows: A₁>A₃>A₄>A₂.

6. CONCLUSION

Scenario which involves a combination of a logistics center, cooperative logistics systems and regulatory concept of city government represents the best solution according to completed evaluation. Based on the application of the chosen scenario it is possible to achieve certain benefits, such as reduction of delivery vehicles number, especially on streets where the traffic is congested, increasing the quality of life in urban areas through the reduction of noise, vibrations, emissions, etc. The combination of city logistics scenarios and application of multi-criteria analysis for their evaluation represents the area which in daily researches becomes more and more important.

REFERENCES

- [1] Anagnostopoulos, K. P., Gratziou, M., & Vavatsikos, A. P. (2007). Using the fuzzy analytic hierarchy

- process for selecting wastewater facilities at prefecture level. *European Water*, 19(20), 15-24.
- [2] Friedmann, J., (1986). The world city hypothesis. *Development and Change* 17, 69– 84.
- [3] Ghorabae, Mehdi Keshavarz, et al. "Extended EDAS Method for Fuzzy Multi-criteria Decision-making: An Application to Supplier Selection." *International Journal of Computers Communications & Control* 11.3 (2016): 358-371.
- [4] Ghorabae, Mehdi Keshavarz, et al. Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 2015, 26.3: 435-451
- [5] Lee, A. H., Chen, W. C., & Chang, C. J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert systems with applications*, 34(1), 96-107.
- [6] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, Mc GrawHill, NewYork,
- [7] Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science*, 32(7), 841-855.
- [8] Sassen, S., (1991). *The Global city: New York, London, Tokyo*. Princeton University Press, Princeton. Revised edition.
- [9] Sassen, S., (1994). *Cities in a World Economy*. Thousand Oaks, Pine Forge
- [10] Tseng, Y. Y., et. al. (2005). The role of transportation in logistics chain. *Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Vol. 5, 2005., pp. 1657-1672
- [11] Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.
- [12] Zečević, S., & Tadić, S. (2005). Cooperation models of city logistics. *The international Journal of Transport & Logistics*, 9(05), 123-140.
- [13] Zečević, S., Tadić, S. (2006) *City logistika*. Beograd: Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu



СИМУЛАЦИЈА ПРЕТОВАРНИХ ПРОЦЕСА НА CROSS DOCK ТЕРМИНАЛУ

SIMULATION OF THE MATERIAL HANDLING PROCESSES AT THE CROSS DOCK TERMINAL

БРАТИСЛАВ ЛАЗИЋ

Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду, bratislav.lazic@pupin.rs

ГОРДАНА РАДИВОЈЕВИЋ

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, g.radivojevic@sg.bg.ac.rs

ГОРАНА ШОРМАЗ

Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду, gorana.sormaz@pupin.rs

Резиме: Cross dock терминал је дистрибутивни центар који прима, сортира и отпрема пошиљке без складиштења или са малим временом складиштења, у складу са потребама различитих учесника у ланцу снабдевања. Организација унутрашњег транспорта при претовару из долазних у одлазна возила је веома комплексан проблем. У овом раду развијен је симулациони модел за анализу међусобног утицаја претоварних средстава у процесу претовара у cross dock терминалу.

Кључне речи: Cross dock терминал, Претовар, Симулација, Показатељи рада.

Abstract: Cross dock terminal is a distribution center that receives, sorts and dispatches shipments without storing or with small storage time, according to the needs of different supply chain participants. The inner transport organization of reloading from incoming to outgoing vehicles is a very complex problem. In this paper a simulation model is developed for analysis of reloading resources' mutual influences during the process of reloading in a cross dock terminal.

Keywords: Cross dock terminal, Reloading, Simulation, Performances.

1. УВОД

Cross dock терминал је дистрибутивни центар који прима пошиљке од произвођача или добављача, врши њихово сортирање и отпремање заједно са пошиљкама других произвођача или добављача без складиштења. Применом cross dock система смањује се потреба за складиштењем робе и ниво залиха. Организација унутрашњег транспорта при претовару из долазних у одлазна возила је веома комплексан проблем. Циљ овога рада је развој симулационог модела за анализу међусобног утицаја претоварних средстава у процесу претовара на cross dockу. Симулациони модел треба да омогући бољу оцену организације рада и различитих стратегија претовара.

Рад обухвата пет целина. У другом делу је описан cross dock терминал, основне функције, стратегије претовара и проблеми који се решавају. Трећи део рада обухвата опис развијеног симулационог модела. У четвртм делу је приказана верификација и валидација модела. Модел је тестиран на великом скупу података а овде су описани излазни резултати за један конкретан терминал. У петом делу су дата закључна разматрања.

2. CROSS DOCK ТЕРМИНАЛ

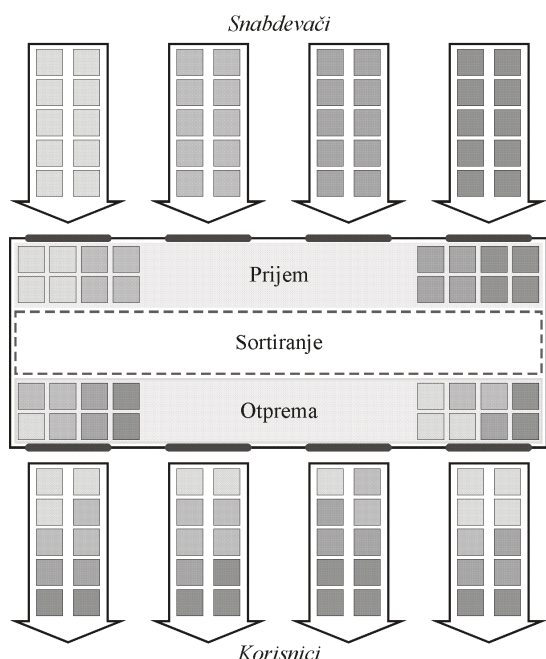
Cross dock терминал је дистрибутивни центар у ланцу снабдевања који прима, сортира и отпрема пошиљке

без складиштења или са малим временом складиштења (до 24 часа), у складу са потребама различитих учесника у ланцу снабдевања. Основни циљ је да се роба са долазних возила директно претовара на одлазна возила, чиме се елиминишу две најскупље операције у класичним дистрибутивним центрима: складиштење и комисионирање [1]. Функције cross dock терминала (слика 1) су:

- Пријем робе,
- Сортирање робе и
- Отпрема робе.

Пријем робе се обавља на улазним вратима терминала. Возила са робом чекају на паркингу и распоређују се на улазна врата где се обављају истовар и пријем робе. Уколико је потребно привремено складиштење, роба се одлаже на под терминала поред улазних или излазних врата или у зони између њих. Роба се сортира према локацијама корисника и тиме припрема за отпрему. Возила за отпрему се распоређују на излазна врата, роба се утовара и возило реализује отпрему.

Већина cross dock терминала се изводи у облику правоугаоних објеката (I, L, T, X, U и E облици) који имају више врата. Врата терминала могу бити намењена само за утовар или истовар, или могу бити комбинована.



Слика 1: Основне функције cross dock терминала

У литератури постоје различите стратегије рада cross dock терминала у зависности од броја претовара [1]:

- Стратегија једнофазног претовара (енгл. one-to-touch) подразумева да се роба истовара из долазних и директно утовара на одлазна возила.
- Стратегија двофазног претовара (енгл. two-to-touch) или једноступеног складиштења (енгл. single-state) подразумева да се роба истовара из возила, транспортује до места привременог складиштења, и одатле се касније утовара на возила.
- Стратегија вишефазног претовара (енгл. multi-rtouch) или двоступеног складиштења подразумева да се роба привремено складишти код улазних врата. Ту се роба сортира, транспортује до складишне зоне код излазних врата и затим утовара у возила.

Постоје стратегије рада код којих је могуће прекинути истовар или утовар како би се опслужило возило са приоритетом. За неке врсте робе се увек примењује једнофазни претовар без додатног одлагања и задржавања. Такође, постоје стратегије када је роба припремљена за купца код снабдевача, што значајно убрзава рад cross dock терминала. У пракси један cross dock терминал може примењивати различите стратегије рада у складу са додатним захтевима робе, возила и корисника.

Примена cross dock система у односу на традиционално складиштење омогућава [2]:

- смањење трошкова,
- консолидацију испорука,
- краће рокове испоруке,
- смањење простора потребног за складиштење,
- смањење ризика од настанка штете у процесу складиштења,
- бољу услугу корисницима,
- боље искоришћење ресурса,
- бржи обрт капитала итд.

У литератури постоји велики број радова који се баве различитим проблемима cross dock терминала на оперативном, тактичком и стратешком нивоу. Најчешћи проблеми су [3]:

- Избор локације терминала,
- Пројектовање лејаута терминала,
- Организација мреже терминала,
- Рутирање возила,
- Распоређивање возила на врата при истовару и утовару,
- Временско распоређивање долазака возила,
- Привремено складиштење,
- Интерни саобраћај итд.

3. СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ

У овом раду је развијен симулациони модел процеса cross dock терминала за анализу међусобног утицаја претоварних средстава. Циљ модела је симулација рада терминала са одвојеним улазним и излазним вратима, у коме се претовар робе обавља виљушкарима. Унутрашњи транспорт и претовар робе у терминалу се посматрају као дискретан динамички задатак на транспортној мрежи $G=(N, E)$ где је:

- N – скуп чворова који обухватају улазна и излазна врата, места укрштања интерних саобраћајница, места приступа складишним зонама, локације паркинга и чекања возила; и
- E – скуп грана, интерних саобраћајница које повезују све чворове.

Дужине грана на транспортној мрежи одговарају растојањима из реалног система. За сваку грану је дефинисана средња вредност брзине (пуног и празног) претоварног средства, минимално међурастојање и максималан број средстава који истовремено може бити на грани.

Складишна зона има ограничен број места за привремено складиштење производа. Роба се може одлагати и узимати из складишта поред улазних и излазних врата. Одлагање се врши на најудаљеније слободно место, а узимање са првог попуњеног места. Времена одлагања и узимања робе могу бити детерминистичке или случајне променљиве које имају нормалну расподелу.

Симулациони модел подразумева да су унапред познате следеће информације:

- Врста и количина робе долазних токова.
- Врста и количина робе одлазних токова.
- Број претоварних средстава.
- Локација претоварних средстава на почетку рада.
- Времена долазака возила на паркинг терминала.
- Распоред долазних и одлазних возила на улазним и излазним вратима.

Симулациони модел се заснива на следећим претпоставкама:

- Сва роба која се допреми мора бити и отпремљена из терминала.
- Паркинг терминала има неограничен број места. Време путовања од паркинга до врата је исто за сва долазна и одлазна возила.
- Редослед опслуге возила на једним вратима одговара редоследу њиховог доласка у терминал.
- Возилу на улазним/излазним вратима може истовремено да приступи само једно претоварно средство.
- Величина и тежина манипулативних јединица не утичу на време утовара, истовара, транспорта и складиштења.
- За сва врата постоји заштитно време између опслуге два возила.
- Редослед истовара возила одговара обрнутом реду из транспортне листе. На пример, ако транспортна листа садржи 6 јединица терета (ААББЦЦ) тада је редослед истовара (ЦЦББАА).
- У отпремно возило се утовара само роба која се налази у транспортној листи.
- Редослед утовара у одлазно возило може бити произвољан.
- Утовар возила се ради директно после истовара или из привременог складишта (једнофазни или двофазни смештај).
- Истовар/утовар је могуће прекинути и извршити замену возила.
- Сва претоварна средства могу да изврше сваки претоварни задатак.
- На транспортној мрежи није дозвољено претицање претоварних средстава.

Модел омогућава примену различитих пословних стратегија и добијање великог скупа статистичких показатеља преко који се може мерити успешност рада терминала. Показатељи рада су груписани према пословним процесима, и обухватају:

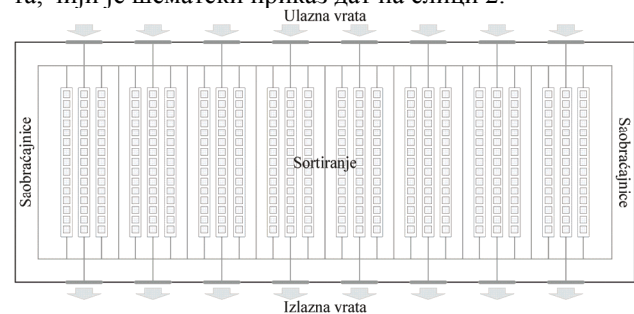
- Cross dock терминал
 - Укупан број обрађених долазних и одлазних возила
 - Укупан број обрађених јединица терета
 - Укупно радно време терминала
 - Просечно време утовара и истовара по возилу и по јединици терета
 - Просечно време транспорта робе у терминалу (од истовара до одлагања, од одлагања до утовара)
 - Просечно време сортирања робе у двофазном систему привременог складишта
- Врата
 - Укупно време заузетости врата
 - Број опслужених возила на улазу и излазу
- Претоварна средства
 - Укупан и просечан пређени пут претоварних средстава (празан, пун)
 - Укупно време проведено на извршењу претоварног задатка
 - Укупно време претовара, чекања и премештања

- Укупно, појединачно и просечно изгубљено време сваког претоварног средства
- Укупан, појединачан и просечан изгубљени пређен пут
- Саобраћајна трака
 - Просечна брзина кретања претоварних средстава
 - Број претоварних средстава која су користила траку у задатку претовара
 - Укупно и просечно изгубљено време у праћењу споријег претоварног средства

Симулациони модел је развијен у Microsoft Visual Studio 2010, C#, Net Framework 4.0. Класе и објекти модела су дефинисани у библиотеци C#CrossDockLib.

4. РЕЗУЛТАТИ МОДЕЛА

Верификација и валидација симулационог модела претоварних процеса у cross docku је урађена на серији примера транспортно претоварних процеса (различити скупови података) у cross dock терминалима различитих облика и различитих стратегија претовара. У овом раду су приказани резултати симулације у cross dock терминалу I облика са 8 улазних и 8 излазних врата, чији је шематски приказ дат на слици 2.



Слика 2: Шематски приказ cross dock терминала

Симулација је обухватила један радни дан терминала. Осамдесет возила довози 2240 јединица робе. Свако возило превози по 28 јединица робе истог добављача. Отпрема робе се реализује са 84 возила. Cross dock терминал располаже са 24 претоварна средства. Примењена је стратегија *двофазног претовара* у којој се роба истовара са возила и транспортује до места привременог складиштења у зони испред излазних врата, одакле се касније утовара на возила. По доласку возила 2 претоварна средства добијају задатак да истоваре и одложе робу испред излазних врата у складу са транспортном листом. По доласку возила на излазна врата једно претоварно средство добија задатак да утовари робу из привременог складишта у возило. Показатељи рада претоварних средстава су приказани у табели 1. Изгубљено време рада претоварних средстава је последица међусобног ометања – нема претицања па једно средство мора да следи друго на истој грани а у раскрсницама се даје првенство пролаза средствима са десне стране.

У табели 2 је приказана статистика јединица терета, које највећи део времена проведу на чекању истовара

Табела 1: Статистика претоварних средстава

Ознака	Пут празан (м)	Пут пун(м)	Укупан пут (м)	Изгубљено време на гранама (с)	Изгубљено време на раскрсницама (с)	Укупно изгубљено време (с)
1	3098.50	2346.00	5444.50	684.00	39.50	723.50
2	4024.00	3175.00	7199.00	383.50	25.00	408.50
3	3664.50	2909.50	6574.00	929.50	62.50	992.00
...
Укупно	86102.50	67468.00	153570.50	26498.00	1200	27698.00
Просечно	3587.60	2811.17	6398.77	1104.08	50	1154.08

Табела 2: Статистика јединица терета

Роба ИД	Чекање истовара (с)	Складиште (с)	Укупно (с)
6927	29	7	89
6926	40	32	124
...			
Укупно	1903946	72238	2125116
Просечно	850	32.25	948.71
Мин	19	7	85
Мах	4126	559	4210

Статистички подаци о раду возила која раде допрему и отпрему робе обухватају све показатеље о временским терминима доласка, чекања, истовара, утовара и отпреме. У табели 3 су приказани сумарни подаци за сва возила, који указују да возила највише времена проведу на истовару и утовару.

Табела 3: Статистика возила

Показатељ	На паркингу (с)	На вратима (с)
Укупно време	40524	403641
Просечно	247	2461
Мин	0	747
Мах	3002	5875

Симулациони модел омогућава добијање података о интензитету коришћења грана на транспортној мрежи. У табели 4 су приказани подаци о неким саобраћајницама. У овом моделу се за руте претоварних средстава користи Дијкстра алгоритам. Подаци указују да би се бољи ефекти остварили равномернијим коришћењем свих грана јер би тиме брзине биле веће а време унутрашњег транспорта мање.

Табела 4: Statistika saobraćajnih traka

Grana	Број пролаза	Vreme (s)	Prosečna brzina (m/s)
3	308	804.00	0.77
...
Просечно	424	1214.45	1.56

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог рада је био изградња симулационог модела транспортно претоварних процеса у cross dock терминалима. Извршена је детаљна анализа међусобног утицаја транспортних средстава и анализа транспортног тока. Модел представља апроксимацију догађаја у реалном систему претовара, унутрашњег транспорта и привременог складиштења терета и обезбеђује скуп статистичких података.

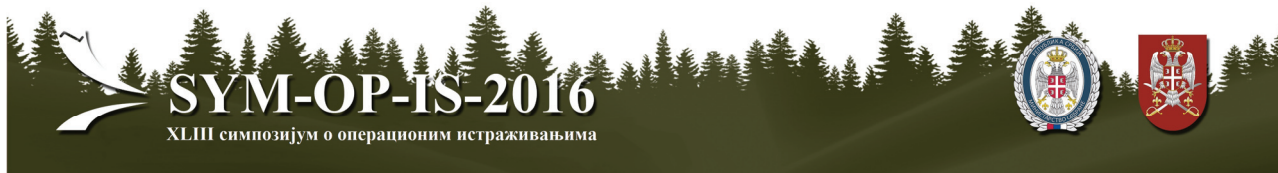
Симулациони модел се може користити и за:

- анализу утицаја модела за распоређивање возила на улазна и излазна врата,
 - помоћ при пројектовању рута претоварних средстава,
 - оцену постојећег лејаута терминала и др.
- Унапређење и даљи развој симулационог модела могу бити:
- примена претоварних средстава различитих карактеристика,
 - поштовање додатних захтева возила, теретних јединица и корисника,
 - ограничење броја паркинг места у терминалу,
 - анализа показатеља који дефинишу избор стратегије претовара,
 - могућности дужег складиштења робе итд.

Напомена: Овај рад је финансиран од стране МНТР Републике Србије, у оквиру пројекта TR 36005 (2011-2016).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Van Belle, J., Valckenaers, P., Cattrysse, D., "Cross-docking: State of art", *Omega*, 40 (6), (2012), 827-846.
- [2] Boysen, N., Fliedner, M., "Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda", *Omega*, 38 (6), (2010), 413-422.
- [3] Sheikholeslam, M.N., Emamian, S., "A review and Classification of Cross-Docking Concept", *International Journal of Learning Management Systems*, 4 (1), (2016), 25



ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА ТРАНСПОРТА ШЕЋЕРНЕ РЕПЕ ДО ШЕЋЕРАНЕ

SUGARBEET TRANSPORTATION PROCESSES OPTIMIZATION IN SUGARMILL SUPPLY

ДРАГАНА ДРЕНОВАЦ

Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, Београд, drenovac@sf.bg.ac.rs

МИЛОРАД ВИДОВИЋ

Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, Београд, m.vidovic@sf.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду представљен је проблем оптимизације превоза шећерне репе од тачака прикупљања репе до шећеране. За нормално функционисање шећеранама је потребна сировина високог технолошког квалитета. Са друге стране, шећерној репи, после чувања из земље, почиње да опада квалитет пошто временом губи сахарозу, главни састојак од кога се добија шећер. У овом раду оптимизован је процес транспорта репе са циљем да се што више сачува свежина шећерне репе током посматраног планског периода. Представљен је и одговарајући математички модел чије су могућности приказане кроз одређени број тест примера.

Кључне речи: Шећерна репа, Транспорт, Бинарно линеарно програмирање.

Abstract: In this paper the problem of sugarbeet transportation process optimization, which comprises pick-up sugarbeet from collection points and conveying them to sugar mills, is considered. The availability of sufficient quantities of sugarbeet of high technological quality is an important prerequisite for a mill to be economically viable. Pulled out of the grounds, sugarbeet loses its quality waiting for transportation. In this paper optimization of sugarbeet transportation process in terms of preserving beet freshness is considered and binary model is proposed. The proposed model is validated on set of test instances.

Keywords: Sugarbeet, Transportation, Binary programming.

1. УВОД

Шећерна репа је пољопривредно – индустријска култура која има свој како економски тако и социјални значај. Садржи одређену количину сахарозе, из које се, после екстракције и обраде, добија шећер. Процес прераде шећерне репе одвија се кроз два периода у току године. У првом периоду биљка се сади и сазрева, а траје од раног марта до августа. Затим следи тзв. кампања, период вађења шећерне репе из земље, транспорт до шећеране и прерада која траје два до четири месеца у зависности од висине приноса репе и временских услова. Период кампање погодан је посматрати кроз планске периоде од два до петнаест дана, у оквиру којих је количина извађене репе последица расположивости машина, зрелости репе, као и намере да се сировинско подручје равномерно третира.

Извађену репу на прераду треба транспортовати што је пре могуће како би се избегли губици у дигестији која је показатељ количине садржаја шећера у корену у тренутку када се репа допреми у шећерану. Ови губици варирају у зависности од метеоролошких услова и карактеристика репе, а просечно износе око 10% дневно. За

стандардни садржај шећера у корену сматра се 16% а технолошки је неисплатива прерада шећерне репе када је дигестија испод 13%. Због ограничених капацитета прерадног, транспортног и складишног система, односно због неповољних временских услова, целокупну извађену количину најчешће није могуће одмах отпремити и прерадити те су губици у дигестији неминовни. Применом одговарајуће технологије складиштења репе након вађења, на тзв. "призмама", и дефинисањем најповољније динамике отпреме и редоследа обиласка појединих локација, губици у дигестији могу се свести на минимум.

Управо у овом сегменту и треба тражити сврху оптималне реализације транспортног процеса. Наиме, током кампање, шећеране раде без прекида што подразумева свакодневну допрему потребних количина шећерне репе са просторно дисперзованих локација призмама у зони шећеране, при чему свако одлагање отпреме утиче на смањење дигестије. При томе, количина шећерне репе складиштена у призмама је много већа од капацитета возила, па се отпрема укупне количине реализије вишеструким обиласцима исте локације.

У литератури не постоји много радова који се баве снабдевањем шећерана шећерном репом. У једном од првих радова [1] моделован је процес транспорта шећерне репе до фабрика у Мађарској. У раду [2] разматран је систем расподељивања шећерне репе у којем се репа не вози директно у фабрику већ преко одређених локација, тзв. депоа. Аутори оптимизују број депоа, њихових локација и величина, као и количина репе у току снабдевања тако да се минимизирају локацијско - транспортни трошкови. У [3] анализирана је потреба повезивања више логистичких фаза: вађење репе, транспорт и складиштење. Радови [4] и [5] приказују моделе којима се минимизирају свеукупни трошкови превоза репе, док је у раду [6] развијен модел временског распоређивања возила са циљем минимизирања времена рада возила које се последње враћа у фабрику. Неки радови се односе на снабдевањем шећерана шећерном трском. Тако је у [7] оптимизована величина флоте возила, док је у [8] решаван проблем распоређивања друмских возила за превоз трске до шећерана у Аустралији.

У овом раду проблем допреме шећерне репе до шећерана посматран је као проблем оптимизације редоследа и динамике обиласка призми, на начин да се минималним бројем возила обезбеди допрема захтеване количине репе која обезбеђује сигуран континуални рад шећеране уз минимални могући губитак дигестије.

Тиме је, заправо, слеђена идеја обезбеђења "свежије репе" кроз квалитетније управљање реализацијом транспортних процеса приликом допреме са призми. Имплементација идеје базирана је на комбинованом концепту инспирисаном проблемима оријентације [9] и једнодимензионог паковања .

У наставку, рад је организован на следећи начин. У тачки два представљена је математичка формулација проблема. У тачки три дати су резултати нумеричких експеримената примене модела, док тачка четири садржи закључна разматрања.

2. МАТЕМАТИЧКА ФОРМУЛАЦИЈА ПРОБЛЕМА

Математички модел превоза шећерне репе који се разматра у овом раду формулисан је у форми целобројног бинарног модела линеарног програмирања. Модел омогућава управљање превозом репе до шећерана на оперативном нивоу, унутар планског периода дате дужине, израженог у броју јединичних временских интервала, који најчешће представљају један дан.

Сировинско подручје кога чине засади шећерне репе, као и производно подручје шећеране могу се представити транспортном мрежом у којој су чворови призме са одређеном количином шећерне репе коју треба превести до фабрике. Мрежа садржи N чворова $j \in N \setminus \{0\}$, (призми), док је посебним чвором унутар мреже представљена шећерана, $j=0$. На располагању је хомогени возни парк одговарајућих возила капацитета q_v . Шећерана поседује простор за складиштење допре-

мљене репе чији је капацитет Q_s . Дневна количина која се прерађује у фабрици износи Q_p , док је минимална количина залиха репе, која обезбеђује сигурност у континуитету производње, на дневном нивоу Q_m ($Q_p \leq Q_m$).

Од реалне транспортне мреже може се формирати виртуелна, мултиплицирањем реалних чворова - локација призми, бројем тура возила чији је капацитет q_v , потребних да би отпремила укупна количина репе у призми. На основу тога, сваки чвор $j \in N$, мултиплицира се у n_j „виртуелних“ чворова, тј. чвор j се n_j пута посећује у току планског периода. Могући остаци у чворовима сакупљају се возилом „чистачем“ и те количине би повећале ниво укупних залиха за цца 2-5%.

Сва времена путовања од шећерана до чвора и позната су и износе T_j . Такође је познато и просечно време утовара, мерења и истовара камиона, T_{lmu} . Време потребно да се до чвора j обави једна тура износи $t_j = 2T_j + T_{lmu}$. Речено је да због много мањег капацитета возила у односу на количине у призмама, свако возило које напусти фабрику, посети једну призму, натовари репу и врати се у фабрику. Увођењем времена t_j у модел, уместо времена T_j , где је урачунат повратак у фабрику, могуће је управљати превозом формирањем рута које би одређивале скуп обилазака подскупа призми произвољног дана. T_{max} је временски период који може да означава дан или смену у току планског периода.

Залихе репе у призми j појављују се дана r_j у току планског периода. Свим чворовима придружена је функција $S_j(d, r_j)$ која представља промену у дигестији током времена. Предложени модел може се формулисати на следећи начин:

$$\max \left(\sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} S_j(d, r_j) y_{ijpd} - \gamma \sum_{p=1}^P x_p \right) \quad (1)$$

$$\sum_{j=li=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_j y_{ijpd} \leq T_{max} x_p, \quad \forall p, \forall d \quad (2)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{d=r_i}^D y_{ijpd} = 1, \quad \forall i, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^{r_i-1} y_{ijpd} = 0, \quad \forall i, \forall j \quad (4)$$

$$q_v \sum_{p=1}^P \sum_{j=li=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} y_{ijpd} + \left(q_v \sum_{p=1}^P \sum_{j=li=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} y_{ijp, d-1} - Q_p \right) \leq Q_s, \quad \forall d = 2, \dots, D \quad (5)$$

$$q_v \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} y_{ijpd} + \left(q_v \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} y_{ijp,d-1} - Q_p \right) \geq Q_m, \quad \forall d = 2, \dots, D \quad (6)$$

$$q_v \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} y_{ijp1} \leq Q_s \quad (7)$$

$$q_v \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} y_{ijp1} \geq Q_m \quad (8)$$

$$y_{ijpd} = \begin{cases} 1 & i - \text{ti obilazak prizme } j \text{ u ruti } p \text{ dana } d \\ 0 & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$x_p = \begin{cases} 1 & \text{ako ruta } p \text{ postoji} \\ 0 & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

где је:

$$S_j(d, r_j) = \begin{cases} (1 - \alpha)^{d-r_j} \cdot \Delta_j, & d \geq r_j \\ 0, & d < r_j \end{cases}$$

q_v - носивост возила

N - број призми

n_j - број посећивања призме j у току планског периода (број „виртуелних“ чворова призме j)

D - дужина планског периода

P - максималан број рута у току планског периода и израчунава се на следећи начин:

$$P = \left\lceil \frac{(\max t_j) \cdot \sum_{j=1}^N n_j}{T_{\max} \cdot D} \right\rceil + 1$$

r_j - редни број дана када у призми j има извађене репе

Δ_j - проценат дигестије у репи у призми j на дан вађења из земље

Q_s - капацитет складишта репе у шећерани

Q_p - количина репе која се дневно прерађује

Q_m - неопходна дневна количина репе коју је потребно обезбедити за несметан рад шећеране

γ - коефицијент

α - проценат умањења дигестије за један дан

Функција циља (1) садржи два супротстављена критеријума. Један је сакупљање што већег скорa (аналогно проблему оријентације), а други је ангажовање што мањег броја возила за време планског периода (проблем паковања). Ограничењима (2) осигурава се да руте не буду дуже од задатог временског периода у оквиру планског периода. Ограничења (3) обезбеђују да се свака тура једне призме изведе само једном до краја планског периода (да се сваки виртуелни чвор обиђе само једном). Ограничења (4) онемогућавају да се одвија превоз до

неког чвора пре него што се захтев појавио у њему. Изрази (5) и (6) ограничавају количину репе која ће се допремити било ког дана осим првог капацитетом складишта и минималном прописаном количином. Ограничења (7) и (8) ограничавају количину репе која ће се допремити првог дана капацитетом складишта и минималном прописаном количином.

Имајући у виду изразе (1) и (2), постаје очигледна идеја комбиновања концепта проблема оријентације и проблема паковања возила. Из проблема оријентације усвојена је идеја придруживања чворовима бодова који имају смисао свежине репе, док је у случају проблема паковања аналогија направљена са минимизацијом укупног броја возила која учествују у реализовању допреме репе.

3. РЕЗУЛТАТИ НУМЕРИЧКИХ ЕКСПЕРИМЕНАТА

Предложени модел тестиран је на два скупа нумеричких примера од по десет инстанци, који су генерисани на случајан начин, али тако да задрже карактеристике реалних транспортних мрежа овог типа на територији Србије. Оба скупа тест инстанци односе се на плански период од три дана.

Инстанце у првом скупу садрже по 20 призми, док је у другом скупу примера број призми 40. Координате чворова случајно су генерисане унутар сировинског подручја у облику квадрата дужине 6 h. Носивост камиона је 25 тона. Постоје четири величине призми, од 25, 50, 75 и 100 тона. Број поена у призмама представља проценат дигестије и креће се од 18 до 22. Захтев за превозом у некој призми може се јавити у било ком дану у току планског периода. Количина репе која се дневно прерађује у фабрици једнака је количнику укупне количине извађене репе и дужине планског периода. То је уједно и минимална дневна количина коју треба обезбедити, док је капацитет производног складишта за 50 % већи од количине која се прерађује. Број припадајућих „виртуелних“ чворова тј. број обиласка реалне призме приказан у табели 1 за сваку креирану инстанцу. Усвојено је да се дневно губи 10% на дигестији. Период T_{\max} је један дан, тј. 24 часа. Вредност коефицијента γ је 1.

Предложени математички модел тестиран је коришћењем софтвера CPLEX 12.2 на 64-битном рачунару 3.20 GHz Intel Core i5-3470 са 8 GB RAM меморије. Резултати теста приказани су у Табели 1. Представљени резултати су обећавајући и показују да се предложени модел може користити за оптимално управљање транспортом шећерне репе у процесу производње шећера.

Табела 1: Резултати тестирања модела

Тест примери (20 призми)	Број „виртуелних“ чворова	Вредност функције циља	CPU време (сек.)	Тест примери (40 призми)	Број „виртуелних“ чворова	Вредност функције циља	CPU време (сек.)
M_test_primer_1	40	773,05	1,97	S_test_primer_1	85	1702,58	0,66
M_test_primer_2	44	880,79	1,08	S_test_primer_2	82	1594,38	1,39
M_test_primer_3	39	762,17	0,42	S_test_primer_3	81	1627,80	4,39
M_test_primer_4	43	843,06	0,11	S_test_primer_4	88	1741,59	1,36
M_test_primer_5	40	791,99	0,63	S_test_primer_5	95	1938,79	4,36
M_test_primer_6	47	935,95	0,72	S_test_primer_6	86	1703,98	2,28
M_test_primer_7	37	747,00	0,11	S_test_primer_7	80	1576,32	2,73
M_test_primer_8	37	733,28	2,59	S_test_primer_8	69	1404,80	1,80
M_test_primer_9	42	850,60	0,59	S_test_primer_9	84	1671,17	2,27
M_test_primer_10	36	711,27	0,17	S_test_primer_10	87	1706,38	2,63

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљен проблем оптимизације превоза шећерне репе од призми, као места прикупљања извађење репе до шећеране. Проблем допреме шећерне репе до шећерана посматран је као задатак оптимизације редоследа и динамике обиласка призми, на начин да се минималним бројем возила обезбеди допрема захтеване количине репе са максималном дигестијом. Приступ се показао као веома обећавајући, а у наредном кораку неопходан је развој хеуристичког приступа погодног за решавање проблема већих димензија

ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је делимично подржан од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије, кроз пројекат ТР36006 за период 2011.-2016.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kondor, G., „Elaboration of an optimum transportation and processing program for sugar-beet“, *Economics of planning*, 6(1), 1966.
- [2] , E., Wojtych, E., „Location of depots in a sugar-beet distribution system“, , Volume 18, Issue 3, (1984), 396-402.

- [3] Strohm, R., Logistik im Zuckerrübenanbau. In: Kopfer, H., Bierwirth, C. (Eds.), *Logistik Management*. Springer, Berlin, (1999) pp. 41–48 (in German).
- [4] Žitňák, M., Korenko, M., „Technical-economical indicators in the sugar beet transportation management“, *Res. Agr. Eng.* Vol. 57 (2) (2011), 63–71.
- [5] Hansen, A.C., Barnes, A., Lyne, P.W.L., „Using computer simulation to evaluate sugarcane harvest-to-mill delivery systems“. *Proceedings of the Seventh International Conference on Computers in Agriculture*, (2001) 98–107.
- [6] Anokić, A., „MILP model for vehicle scheduling problem considering the transport of agricultural raw materials“, *XLII International Symposium on Operations Research SYM-OP-IS*, 2015, 340-343.
- [7] Higgins, A., „Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill“, *European Journal of Operational Research* 170 (2006) 987–1000.
- [8] Milan, E.L., Fernandez, S.M., Aragonés L.M.P., „The transportation problem of sugarcane“, Working paper at the Mathematics Department of the University of Lleida, Spain, 2003.
- [9] Vansteenwegen, P., Souffriau, W., Van Oudheusden, D., „The orienteering problem: A survey“. *European Journal of Operational Research*, 209: (2011) 1–10.



УНАПРЕЂЕЊЕ ЕФИКАСНОСТИ ЛОГИСТИЧКИХ ПРОЦЕСА ДИСТРИБУЦИЈЕ ПРОИЗВОДА

IMPROVING EFFICIENCY OF LOGISTICS PROCESSES IN PRODUCT DISTRIBUTION

МИЛАН АНДРЕЈИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Одсек за логистику m.andrejic@sf.bg.ac.rs

МИЛОРАД КИЛИБАРДА

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Одсек за логистику m.kilibarda@sf.bg.ac.rs

Резиме: У циљу успешног пласмана производа на тржиште, задовољства и лојалности корисника, као и сигурних прихода, неопходно је ефикасно реализовати логистичке процесе у дистрибутивном каналу. У овом раду детаљније су истражене могућности мерења и унапређења ефикасности логистичких процеса у дистрибутивним каналима. Посебан акценат у раду дат је корективним акцијама и унапређењима које се односе на: организационе промене, промене у опреми и капацитетима, смањење потрошње енергије, унапређење информационог система, смањење грешака, повећање искоришћености, повећање промета и других излазних величина. Анализирани резултати показују изузетну погодност примене предложеног приступа.

Кључне речи: логистички процеси, дистрибуција, унапређење ефикасности

Abstract: In order to successfully distribute product on the market, to have satisfied and loyal customer as well as to have revenue it is necessary to realize efficient logistics processes in the distribution channel. In this paper possibilities of measuring and improving of mentioned processes are investigated. The special emphasis is given to corrective actions and efficiency improving relates to: organizational changes, changes in the equipment and the capacity, energy consumption reduction, information systems improvement, failures reduction, utilization increasement, turnover and other output increasement. The results show great applicability of proposed approach.

Keywords: logistics processes, distribution, efficiency improving

1. УВОД

У дистрибутивним каналима реализује се велики број различитих логистичких процеса. Успешна реализација дистрибуције производа директно зависи од ефикасности реализације логистичких процеса у каналу. Ефикасност поменутих процеса је међусобно условљена и повезана. Већина радова у литератури анализира поједине логистичке процесе као потпуно независне и не сагледава њихово место и улогу у каналу. У овом раду детаљније су сагледани основни логистички процеси који се појављују у дистрибутивном каналу. Посебан акценат је стављен на могућности унапређења ефикасности посматраних система и процеса. Рад је организован на следећи начин. У наредном делу детаљније су описани модели унапређења ефикасности дистрибутивних центара. Након тога су приказане могућности унапређења ефикасности логистичких процеса у дистрибутивним каналима. На самом крају изнета су закључна разматрања и правци будућих истраживања.

2. УНАПРЕЂЕЊЕ ЕФИКАСНОСТИ ДИСТРИБУТИВНИХ ЦЕНТАРА

У поступку мерења ефикасности дистрибуције производа могуће је разликовати два аспекта. Први аспект се односи на мерење ефикасности дистрибутивних центара за чије мерење је погодно користити модел предложен у [1]:

$$\min_{U_{PC}, V_{PC}} V_{PC} X_{PC}^a - v^a \quad (1)$$

Уз ограничења:

$$V_{PC} X_{PC} - U_{PC} Y_{PC} - v^a \geq 0 \quad (2)$$

$$U_{PC} Y_{PC}^a = 1 \quad (3)$$

$$V_{PC_1^{equipm}} - V_{PC_2^{equipm}} \geq 0 \quad (4)$$

$$V_{PC_3^{energy}} - V_{PC_4^{energy}} \geq 0 \quad (5)$$

$$V_{PC_5^{operat}} - V_{PC_6^{operat}} \geq 0 \quad (6)$$

$$V_{PC_6^{operat}} - V_{PC_7^{operat}} \geq 0 \quad (7)$$

$$U_{PC_1^{utilisat}} - U_{PC_2^{utilisat}} \geq 0 \quad (8)$$

$$U_{PC_3^{quality}} - U_{PC_4^{quality}} \geq 0 \quad (9)$$

$$U_{PC_5^{operat}} - U_{PC_6^{operat}} \geq 0 \quad (10)$$

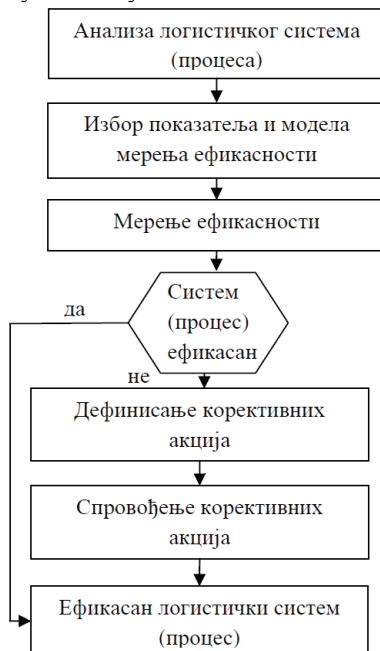
$$U_{PC_4^{quality}} - U_{PC_1^{utilisat}} \geq 0 \quad (11)$$

$$U_{PC_4^{quality}} - U_{PC_5^{operat}} \geq 0 \quad (12)$$

$$V_{PC} \geq 0 \quad U_{PC} \geq 0, \quad v^a \text{ free} \quad (13)$$

У претходном моделу X_{PC} и Y_{PC} представљају матрице улазних и излазних променљивих, $V_{PC_1^{equipm}}$, $V_{PC_2^{equipm}}$, $V_{PC_3^{energy}}$, $V_{PC_4^{energy}}$, $V_{PC_5^{operat}}$, $V_{PC_6^{operat}}$ представљају тежинске коефицијент улазних група показатеља, док $U_{PC_1^{utilisat}}$, $U_{PC_2^{utilisat}}$, $U_{PC_3^{quality}}$, $U_{PC_4^{quality}}$, $U_{PC_5^{operat}}$, $U_{PC_6^{operat}}$ представљају тежинске коефицијенте излазних показатеља.

Модел је примењен на скупу дистрибутивних центара [1]. Анализом резултата примене модела установљено је да посматрани центри нису ефикасни, као и да се одговарајућим корективним акцијама њихова ефикасност може унапредити (Слика 1). Једна од основних предности предложених модела јесу информације о неопходним унапређењима неефикасних система које су резултат модела [2]. Корективне акције којима се може унапредити ефикасност логистичких процеса у дистрибутивним каналима односе се на низ различитих акција. Поједине активности детаљније су објашњене у наставку.



Слика 1: Поступак унапређења ефикасности

Организационе промене пре свега се односе на побољшање контроле организације и распоређивања радника. Проблем лоше контроле се може превазићи прецизним дефинисањем одговорности и овлашћења менаџера и руководиоца, као и процедура у вези са кретањем робе и радника. Контрола обима и квалите-

та рада запослених праћењем дневних, недељних и месечних извештаја, такође представља меру којом се може унапредити реализација процеса. [3].

Промене у опреми и капацитетима подразумевају смањење броја запослених, возила, опреме, величине објекта и слично. У процесу пројектовања система, услед лошег димензионисања, али и промене у структури захтева, неретко се појављују потребе за корекцијама (табела 1). Ово је најчешћи узрок вишка опреме (возила). Процес спровођења корективних акција обухвата: одређивање тачног броја виљушкара неопходних за функционисање – дефинисање вишка; максимално искоришћење потребних виљушкара; испитивање могућности пребацивања вишка у друге системе и подсистеме који су у власништву компаније; преостали вишак се може изнајмљивати или продати. Модел предложени у овом раду пружају прецизне информације о неопходним корекцијама. Највећи број запослених у ДЦ представљају комисионари и возачи који представљају преко 90% укупног броја запослених. Број возача у директној вези је са бројем возила, тако да корективне акције везане за возила директно утичу на број возача. Смањење вишка у броју комисионара на први поглед представља непопуларну меру отпуштања радника. Неретко се дешава да ДЦ карактерише недостатак радника на пријему и отпреми робе, услед чега долази до грешака у квалитативном и квантитативном пријему и отпреми робе које касније стварају додатне трошкове, односно директно и индиректно проузрокују губитке. Један део вишка комисионара могуће је преместити на пријем и отпрему робе у циљу смањења грешака и унапређења ових процеса.

Смањење потрошње енергије пре свега се односи на смањење потрошње горива. Потрошња горива зависи од врсте возила, носивости, пређеног растојања. Без обзира на тип возила постоје одређени начини којима се може смањити потрошња енергије: боље планирање и распоређивање возила у процесу дистрибуције, повећање искоришћености, напредни системи контроле, систем кажњавања и награђивања возача, итд. Највећи део потрошње електричне енергије у складиштима одлази на расхлађивање у хладњачама, док се мањи део енергије троши на пуњење батерија електричних виљушкара. Постоји низ акција којима се може редуковати потрошња енергије у складиштима хладњачама: изолација зидова, пода и крова складишта (око 20% енергије се губи услед лоше изолације складишта), увођење „брзоактивирајућих“ врата које смањују губитак енергије, увођење заштитних претоварних зона за фреквентне робе (фреквентни рад виљушкара), увођење савремених система осветљења објекта у циљу смањења загревања објекта и сл.

Спровођењем дефинисаних корективних акција ефикасност дистрибутивних центара може се унапредити као што је приказано у последњој колони табеле 1.

Табела 1: Потенцијална унапређења ефикасности дистрибутивних центара [1]

ДЦ	Ефикасност пре корекције	Број запослених (комисионари – возачи)			Величина објекта (бр. палетних места)			Ефикасност након корекције
		Почетно	Корекција	Циљ	Почетно	Корекција	Циљ	
ДЦ 1	0.80	88 – 114	17 – 23	71 – 91	4486	897	3589	1.00
ДЦ 2	0.91	47 – 86	4 – 8	43 – 78	6286	566	5720	1.00
ДЦ 3	0.73	31 – 62	4 – 8	27 – 56	4272	555	3717	1.00
ДЦ 4	0.73	39 – 71	11 – 19	28 – 52	6993	1608	5385	1.00
ДЦ 5	0.69	27 – 34	8 – 10	19 – 24	5708	1771	3937	1.00

3. УНАПРЕЂЕЊЕ ЕФИКАСНОСТИ ЛОГИСТИЧКИХ ПРОЦЕСА У ДИСТРИБУТИВНИМ КАНАЛИМА

Други аспект се односи на утврђивање ефикасности појединих процеса и активности. Детаљном анализом су утврђене три кључне одлуке које у великој мери одређују ефикасност логистичких процеса и активности у дистрибутивном каналу. У том смислу начин поручивања (*show room или интернет*), начин комисионирања (*папирно или РФ (енг. radio frequency)*), као и стратегија дистрибуције (*брза испорука или са накупљањем*), генеришу осам различитих сценарија. За потребе мерења ефикасности процеса у дистрибутивним каналима коришћени су различити модели у зависности од врсте процеса. С обзиром на чињеницу да су процеси описани различитим бројем индикатора, коришћени су модели предложени у [2]. Укупна ефикасност дистрибутивног канала (E_{dk}) може се представити као збир ефикасности процеса поручивања (E_{nn}), складишног процеса (E_{cn}), процеса паковања (E_n), ефикасност транспорта (E_m), ефикасност управљања залихама (E_{uz}) и процеса истовара (E_u).

$$E_{dk} = E_{nn} + E_{cn} + E_n + E_m + E_{uz} + E_u \quad (14)$$

Модел је тестиран на примеру осам дистрибутивних канала и процеса који се реализују у њему. Ефикасност појединих процеса је релативно мала и варира од 0.37 до 0.86. На основу информација о корективним акцијама могуће је унапредити неефикасне процесе (Слика 1). У наставку су детаљније објашњене поједине акције којима се може унапредити ефикасност.

Унапређење информационог система - У сваком систему задатак информације јесте да координира и подржава активности које стварају вредност и представљају један од кључних фактора за побољшање ефикасности и ефективности ланца. Увођење информационог система са што једноставнијом апликацијом доступном на свим нивоима основ је успешне и ефикасне дистрибуције производа. У дистрибутивним системима неопходно је извршити интеграцију система за управљање складиштем ($WMS - Warehouse Management System$) и система за управљање транспортом ($TMS - Transport Management System$) [4]. Као последица брже размене информација и припреме потребног броја радника и других ресурса који се користе у процесу паковања, унапређењем информационог система могуће је убрзати процес паковања за 34%. У циљу повећања

ефикасности, унапређењем информационог система време истовара је могуће убрзати за 61%.

Смањење грешака - Већина ДЦ тежи максимизацији броја испорука, које се некада реализују из неадекватних залиха (роба лошег квалитета, роба са кратким роком испоруке, итд.). Менаџери као главни циљ постављају максимизацију профита при чему мали број њих размишља о задовољству корисника и нивоу услуге који у великој мери могу утицати на захтеве запослених. *Смањење грешака у складишту* – Пријем робе од снабдевача и контрола представљају почетну фазу одакле се грешке преносе даље кроз складишни и транспортни систем све до крајњих корисника. Релативно мали број радника на пријему, који карактерише већину ДЦ, неопходно је повећати или боље организовати. Комисионари процес ускладиштења робе реализују са недовољно пажње, уз притисак времена и постављених норми у броју комисионих трансакција. Постављањем мањег броја радника који би радили само процес пријема и ускладиштења грешке би се свеле на минимум. У конкретном случају процес паковања је могуће унапредити смањењем грешака за 34% (табела 2). Грешке се појављују и у процесу испостављања поруџбине. У том смислу процес пријема поруџбине може унапредити ефикасност смањењем грешака за 67%. *Смањење грешака у транспорту* се односи на смањење губитака у новцу, времену и лојалним корисницима који су проузроковани крађом, оштећењем робе и кашњењем у испоруци. Један део грешака у транспорту неретко је последица грешака у складишту. Превасилажење грешака у транспорту захтева пре свега добру организацију и планирање процеса транспорта. Кашњење у испоруци се може превазићи бољом мотивацијом и контролом кретања возила, односно рада возача, као и добрим планирањем рута и предвиђањем могућих саобраћајних загушења. Крађе се могу спречити савременим системима за заштиту товарног простора возила. Системима награђивања и кажњавања возача додатно се може смањити број грешака. *Смањење грешака у управљању залихама* – Грешке у управљању залихама веома су честе у ДЦ трговинских компанија. Услед грешака у залихама трговинске компаније у САД-у губе око 224 милијарди \$ годишње [5]. Крађе су такође проблем који карактерише већину ДЦ. Поменуто грешке се могу превазићи применом следећих корака: праћење стања залиха (уласка/изласка) у реалном времену савременим информационим системима; контрола процеса управљања залихама и „грешака на рачунару“, и сл.

Табела 2: Могућности унапређења ефикасности логистичких процеса [1]

	<i>Ефикасност пре корекције</i>	<i>Унапређење ИС (скраћење трајања)</i>	<i>Смањење грешака</i>	<i>Повећање искоришћености</i>	<i>Повећање излаза</i>	<i>Ефикасност након примене корекције</i>
Процес поручивања	0.37	67%	67%	/	/	1.00
Складишни процес	0.81	19%	19%	/	19% повећање испорука	1.00
Процес паковања	0.64	34%	34%	/	34% повећање броја упакованих јединица	1.00
Процес управљања залихама	0.86	14%	14%	14% искоришћености простора	/	1.00
Процес транспорт	0.84	16%	16%	16% просторне и временске искоришћености возила	16% повећање броја превезених палета (промета)	1.00
Процес истовара	0.39	61%	61%	/	/	1.00

Повећање искоришћености - Искоришћеност ресурса у логистици важан је предуслов унапређења ефикасности. *Повећањем искоришћености складишта* постиже се више ефеката: смањују се трошкови, смањује се потреба за проширењем постојећих објеката и изградњом нових објеката. Низом следећих корака се може унапредити искоришћење складишног објекта: преиспитати изглед и структуру објекта; пуњаче за батерије виљушкарa и додатну опрему изместити из објекта; празне палете складиштити изван објекта; изместити канцеларијски простор изван објекта. У анализираном примеру применом предложеног приступа установљена је потреба за повећањем искоришћености складишног објекта за 14%. *Повећање искоришћености возила* – Искоришћеност возила је условљена организацијом и планирањем испорука. За бољу просторну искоришћеност возила неопходно је вршити спајање испорука, али и користити одговарајуће програмске пакете за боље слагање робе у возило. Временска искоришћеност возила се може постићи одговарајућим програмима обуке запослених као и системима контроле и праћења рада возила. Укључивањем повратних вожњи у процес планирања транспорта могу се у великој мери смањити укупни трошкови.

Повећање излазних величина - Промет представља један од главних показатеља у ДЦ трговинских компанија. Када је реч о промету прва асоцијација је да је у питању новчани показатељ. Међутим, у пракси се под прометом чешће подразумевају показатељи броја реализованих налога, испоручених палета, обрта залиха, итд. Повећање промета у ДЦ представља озбиљан задатак који мора реализовати целокупна компанија. Повећање промета зависи од низа фактора и може се унапредити синхронизованим акцијама свих подсистема. Мањи промет често је последица лоше организације система и немогућности да реализује испоруке.

Након имплементације описаних корективних акција ефикасност појединих процеса је повећана, као што је приказано у последњој колони табеле 2.

4. ЗАКЉУЧАК

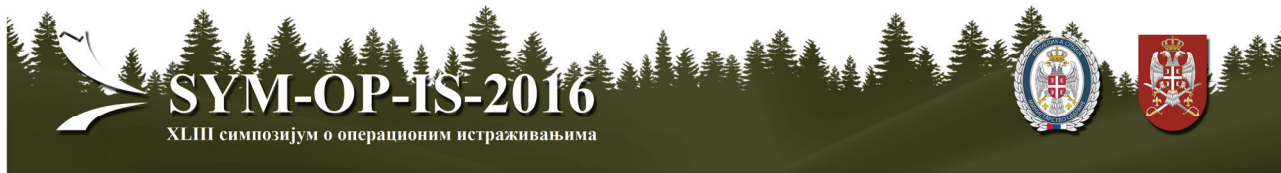
На основу свега наведеног може се закључити да бројни фактори утичу на ефикасност логистичких процеса (технологија, врста производа, обим пословања, окружење). Ефикасност процеса у дистрибутивном каналу може се унапредити одговарајућим корективним акцијама: променама у опреми и капацитетима, организационим променама, смањењем потрошње енергије, унапређењем информационог система, смањењем грешака у транспорту, складиштењу и залихама, повећањем промета и искоришћености ресурса. У будућим истраживањима је потребно истражити могућности мерења и унапређења појединих активности у оквиру посматраних процеса, уз дефинисање одговарајућих показатеља са посебним акцентом на показатељима квалитета и грешака.

ЗАХВАЛНИЦА - Овај рад је делимично подржан од стране Министарства науке, просвете и технолошког развоја Републике Србије, пројекат ТР 36006, за период 2011-2016.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андрејић, М. Модели мерења и унапређења логистичких процеса дистрибуције производа, докторска дисертација, Саобраћајни факултет, 2015.
- [2] Andrejić, M.; Bojović, N.; Kilibarda, M. (2013). Benchmarking distribution centres using Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis: a case study of Serbia, Expert Systems with applications 40 (10): 3926-3933.

- [3] Rushton , A., Croucher, P., Baker, P. (2006). The handbook of logistics and distribution management, 3rd edition. Kogan page, London and Philadelphia
- [4] Животић, И. Кључни показатељи перформанси додатних логистичких процеса, Скуп привредни-ка и научника, Зборник радова, 2011, стр. 377 - 384.
- [5] <http://www.qbsales.com/pdf/5CostlyMistakes-Report.pdf>



АНАЛИЗА КВАЛИТЕТА ЛОГИСТИЧКЕ УСЛУГЕ ПРИМЕНОМ ФАЗИ ЗОНЕ ТОЛЕРАНЦИЈЕ

ANALYSIS OF LOGISTICS SERVICE QUALITY USING FUZZY ZONE OF TOLERANCE

МИЛОРАД КИЛИБАРДА

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Одсек за логистику m.kilibarda@sf.bg.ac.rs

МИЛАН АНДРЕЈИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Одсек за логистику m.andrejic@sf.bg.ac.rs

Резиме: У раду је представљен нов приступ анализи атрибута квалитета логистичке услуге, који се заснива на техници дефинисања зоне толеранције и рангирања атрибута квалитета. Поступак подразумева истраживање вредности и значаја атрибута квалитета логистичке услуге, на бази чега се за сваки атрибут дефинише прихватљив (адекватан), опажени и жељени ниво, као и релативни значај атрибута. Како би се боље сагледале неизвесности, непрецизност и субјективности које редовно прате оцену квалитета логистичке услуге у овом раду је примењена фазна теорија. Вредности и значај атрибута логистичке услуге описани су троугластим фазним бројевима и дефинисана је фазна зона толеранције. Кроз процес рангирања вредности утврђен је ранг сваког атрибута чијом анализом је могуће утврдити три скупа атрибута. Први скуп чине атрибуту чије су вредности задовољавајуће и није их потребно мењати, други скуп су атрибут чије вредности су прихватљиве али нису близу жељеног нивоа и могу бити предмет унапређења, док трећи скуп чине атрибуту чије вредности нису прихватљиве и неопходно их је хитно унапредити. Дефинисани поступак је тестиран на емпиријском примеру.

Кључне речи: логистичка услуга, квалитет, зона толеранције, фазна приступ

Abstract: This paper presents a new approach for analysis of logistics services quality attributes, which is based on the approach of defining the zone of tolerance and ranking attributes of quality. The procedure involves researching the value and importance of the attributes of logistics services quality. On that basis for each attribute acceptable (adequate) observed and the desired level, as well as the relative importance of attributes are defining. In order to take into account the uncertainty, imprecision, and subjectivity in the process of assessment logistics services quality in this paper is applied fuzzy theory. Values and importance of logistics services attributes are described with triangular fuzzy numbers and fuzzy zone of tolerance is defined. Through the process of value ranking the value of each attribute is determined. On further analysis it is possible to determine the three sets of attributes. The first set consists of attributes whose values are satisfactory and can not be changed, the second set of attributes whose values are acceptable but are not close to the desired level and could be subject of improvement, while the third consists of a set of attributes whose values are not acceptable. Proposed approach is tested on numerical example.

Keywords: logistics service; quality; zone of tolerance; fuzzy approach

1. УВОД

Последњих година, коришћени су различити приступи и модели мерења и анализе квалитета логистичке услуге и задовољства корисника. Најшире коришћен и прихваћен концепт заснива се на поређењу очекиваног квалитета услуга и опажања испоручене услуге од стране корисника. Ако се корисникова перцепција поклапа са његовим очекивањем, корисник ће бити задовољан услугом. Уколико је ниво услуге већи него што је очекивано, онда је опажени квалитет услуге висок и корисници ће бити одушевљени. Ако опажена услуга не испуњава очекивања, квалитет услуге је низак, а корисник је разочаран. Међутим, захтеви и оче-

кивања корисника нису јасно и прецизно детерминисани, него их прати низ различитих недоумица, непрецизности, нејасноћа и субјективности и сл. Да би се у таквим условима што прецизније оценио квалитет услуге и задовољство корисника неопходно је користити и комбиновати различите научне приступе и технике. Тако је у овом раду коришћена теорија фазних скупова и зона толеранције. Прво је укратко описан проблем истраживања квалитета и значај концепта зоне толеранције, а затим је развијен и представљен нови модел анализе квалитета логистичке услуге, који је примењен на реалним подацима, а добијени резултати представљени у раду. На крају су дата закључна разматрања и предложени даљи правци истраживања.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Истраживање, мерење и анализу квалитета логистичке услуге у реалним условима прати читав низ различитих проблема и отежавајућих околности. У овом раду су издвојене и разматране три групе проблема. Права група се односи на корисникова очекивања и опажања атрибута логистичке услуге. Корисник никада нема прецизно дефинисан ниво очекивања или опажања, већи има читав низ очекивања, односно опажања вредности атрибута услуге. Тешко је прецизно утврдити и оценити очекиване и опажене вредности. Не постоји одређена мера, стандард или референтна тачка према којој би се одредила очекивана или опажена вредност атрибута. Да би се овај проблем што ефикасније решио у овом раду је примењен концепт зоне толеранције. Претпоставка је да се очекивања и опажања корисника крећу у одређеном интервалу, зони која се у литератури назива зона толеранције.

Зона толеранције покрива простор између жељеног (идеалног) и прихватљивог (адекватног) нивоа услуге. У зависности где се налази опажена вредност квалитета услугу у односу на ове границе, директно се мења задовољство односно незадовољство корисника. Када се услуге крећу унутар зоне толеранције, то не утиче значајније на незадовољство корисника. У ситуацији када је ниво услуге испод прихватљиве границе долази до незадовољства и фрустрације. Уколико корисник добије услугу изнад очекиваног нивоа, веома је задовољан и пријатно изненађен. Иначе, очекивана одступања доводе до различитих нивоа опслуживања корисника [2]. Овај концепт има велики значај за различите секторе услуга, у смислу помагања компанијама да ефикасније управљају услугама ([5];[7]). Зона толеранције представља простор у коме су корисници спремни да прихвате варијације при пружању услуге. Такође, зона толеранције се показала као користан алат за утврђивање промена између квалитета услуга и задовољства корисника. Ако је зона толеранције шира, корисници могу бити мање осетљиви на опажени ниво квалитета услуге, чиме се повећава вероватноћа задовољавајућег и прихватљивог исхода. Насупрот томе, ако је зона толеранције ужа, онда корисници могу бити веома осетљиви на опажени квалитет услуге што повећа вероватноћу појаве разочарања или одушевљења корисника. Опсег зоне толеранције може да варира од купца до купца.

Друга група проблема, односи се на питање које атрибуте треба променити и побољшати како би се унапредио квалитет логистичке услуге. Одговор на ово питање дат је на основу рангирања атрибута.

Трећа група проблема се односи на приступ и технику моделирања и мерења атрибута квалитета логистичке услуге, односно одређивања вредности адекватног, опаженог и жељеног нивоа појединих атрибута, као и релативног значаја сваког атрибута. Како се ради о субјективним, неизвесним и непрецизним лингвистичким исказима корисника у овом раду је коришћена теорија фази скупова. Дефинисана и примењена је фази

зона толеранције, где су граничне вредности представљене фази бројевима.

3. РАЗВОЈ МОДЕЛА

Утврђивање вредности и значаја атрибута

Вредност и значај атрибута логистичке услуге утврђују се на бази анкетних истраживања, где корисници своје оцене исказују кроз вербалан опис вредности (a_i) и степен значајности (релативне тежине) појединих атрибута (t_i). За конкретан атрибут корисник може рећи да им „високу“, „просечну“ или „ниску“ вредност. Исто тако, може се чути да је одређени атрибут „јак“, „средње“ или „слабо“ значајан. Овако представљени квалитативни атрибути логистичких захтева трансформишу се преко одређених скала вредности и могу се представити фази бројевима на следећи начин: ниска (минимална) вредност атрибута фази бројем $a_{ij} = (a_{1ij}, a_{2ij}, a_{3ij})$; средња вредност атрибута фази бројем $p_{ij} = (p_{1ij}, p_{2ij}, p_{3ij})$ и висока (максимална) вредност атрибута $d_{ij} = (d_{1ij}, d_{2ij}, d_{3ij})$. Ово су фази бројеви који одговарају оцени i -тог атрибута ($i=1,2,3,\dots,n$), од стране j -тог корисника ($j=1,2,3,\dots,m$).

На бази овако добијених резултата може се утврдити адекватан (прихватљив), опажен и жељени ниво вредности сваког атрибута [4]. Циљна вредност се уобичајено добија упросечавањем фази бројева. У овом раду је то урађено преко геометријске средине, а минимална и максимална вредност су доња и горања граница. Тако се адекватан ниво вредности i -тог атрибута може представити фази бројем на следећи начин:

$$A_i = (a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}), \text{ где је:} \quad (1)$$

$$a_{1i} = \min_j \{a_{ij}\}, a_{2i} = \left(\prod_{j=1}^m a_{2ij} \right)^{1/m}, a_{3i} = \max_j \{a_{3ij}\}.$$

Опажени ниво вредности може се изразити као:

$$P_i = (p_{1i}, p_{2i}, p_{3i}), \text{ где је:} \quad (2)$$

$$p_{1i} = \min_j \{p_{ij}\}, p_{2i} = \left(\prod_{j=1}^m p_{2ij} \right)^{1/m}, p_{3i} = \max_j \{p_{3ij}\}.$$

Жељени ниво вредности добија се преко следећег израза:

$$D_i = (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i}), \text{ где је:} \quad (3)$$

$$d_{1i} = \min_j \{d_{ij}\}, d_{2i} = \left(\prod_{j=1}^m d_{2ij} \right)^{1/m}, d_{3i} = \max_j \{d_{3ij}\}.$$

На сличан начин се утврђује и значај атрибута. Нека су $t_{1ij}, t_{2ij}, t_{3ij}, i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$, доња граница, највероватнија вредност и горња граница оцене нивоа значаја i -тог атрибута, дате од стране j -тог корисника. Тада, фази ниво значаја i -тог атрибута услуге (T_i), може се дефинисати као:

$$T_i = (t_{1i}, t_{2i}, t_{3i}), \text{ где је:} \quad (4)$$

$$t_{1i} = \min_j \{t_{ij}\}, t_{2i} = \left(\prod_{j=1}^m t_{2ij} \right)^{1/m}, t_{3i} = \max_j \{t_{3ij}\}.$$

Развијени поступак је тестиран на реалним подацима који су узети из истраживања квалитета логистичких услуга шпедитерских компанија на тржишту Србије [3]. Издвојено је и анализирано следећих 10 атрибута

логистичке услуге: A1 – испорука на време; A2 – брз одговор на захтев корисника; A3 – погодност преузимања и испоруке робе; A4 – комплетност испоруке; A5 – брзина обављања царинских процедура; A6 – тачност документације; A7 – поузданост услуге испо-

руке; A8 – степен губитка и оштећења робе; A9 – праћење терета у реалном времену и A10 – једноставни поступци за резервисање и тачност резервације. Добијени резултати су представљени у табели 1.

Табела 1: Фази мере адекватне, опажене и жељене услуге и фази ниво значаја свих атрибута

Атрибути услуга	Прихватљив ниво услуге $A_i = (a_{1i}, a_{2i}, a_{3i})$			Опажени ниво услуге $P_i = (p_{1i}, p_{2i}, p_{3i})$			Жељени ниво услуге $D_i = (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i})$			Значај атрибута услуге $T_i = (t_{1i}, t_{2i}, t_{3i})$		
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	p_{1i}	p_{2i}	p_{3i}	d_{1i}	d_{2i}	d_{3i}	t_{1i}	t_{2i}	t_{3i}
A ₁	2	4.1633	7	2	4.5058	7	3	5.1212	7	1	5.3342	7
A ₂	1	4.2591	7	2	4.5164	7	2	5.0693	7	3	5.5243	7
A ₃	2	4.2113	7	3	4.5267	7	2	4.9372	7	3	5.4473	7
A ₄	2	4.3799	7	2	4.6046	7	3	5.1952	7	3	5.4634	7
A ₅	2	4.1127	7	2	4.5510	7	3	5.0863	7	1	5.3364	7
A ₆	2	4.2825	7	3	4.6210	7	4	5.1126	7	3	5.2253	7
A ₇	1	4.2623	7	2	4.5635	7	3	5.2649	7	3	5.4245	7
A ₈	2	4.1849	7	2	4.6377	7	3	5.1010	7	3	5.4330	7
A ₉	2	4.0511	7	2	4.3358	7	1	4.8867	7	1	4.9145	7
A ₁₀	1	4.1443	7	2	4.5765	7	3	5.1762	7	3	5.3684	7

Дефинисање фази зоне толеранције и рангирање вредности

У претходном кораку утврђен је адекватан, опажен и жељени ниво, као и релативни значај сваког атрибута логистичке услуге. Даље се логично поставља питање да ли све атрибуте услуге треба побољшавати и који је редослед унапређења појединих атрибута. Није рационално и економично истовремено унапређивати све атрибуте, а често то није ни потребно. Из тих разлога, потребно је извршити рангирање атрибута како би се утврдили приоритет побољшања [1].

Прво је за сваки i -ти атрибут потребно утврдити фази разлику (SA_i) између опаженог и адекватног нивоа услуге, као фази зону толеранције ($FZOT_i$). То је могуће преко следећих израза:

$$SA_i = P_i \ominus A_i; \quad SA_i = (s_{1i}, s_{2i}, s_{3i}) \quad (5)$$

$$FZOT_i = D_i \ominus A_i; \quad FZOT_i = (f_{1i}, f_{2i}, f_{3i}) \quad (6)$$

Након тога може се утврдити ранг добијених вредности SA_i и $FZOT_i$, дефазификацијом преко следећих израза:

$$R(SA_i) = (s_{1i} + 4s_{2i} + s_{3i})/6 \quad (7)$$

$$R(FZOT_i) = (f_{1i} + 4f_{2i} + f_{3i})/6 \quad (8)$$

Ранг i -тог атрибута $RSFZ_i$ може се утврдити преко следећег израза:

$$RSFZ_i = R(SA_i)/R(FZOT_i) \quad (9)$$

На бази утврђене вредности ранга могуће је извршити детаљнију анализу сваког атрибута логистичке услуге, кроз следеће констатације:

- 1) ако је $RSFZ_i > 1$ ($SA_i > FZOT_i$), опажене вредности су веће од жељених, што значи да i -ти атрибут не мора бити унапређен у датом моменту;
- 2) ако је $0 \leq RSFZ_i \leq 1$ ($(0,0,0) \leq SA_i \leq FZOT_i$), опажене вредности атрибута су једанке или боље од прихватљивих вредности, али никад нису изнад жељеног нивоа и у принципу потребно их је унапређивати;
- 3) ако је $RSFZ_i < 0$ ($SA_i < 0$), опажене вредности су ниже од прихватљивих и атрибуту се морају хитно унапређивати.

Када се описани поступак примени на податке из табеле 1, добију се рангиране вредности атрибута што је представљено табелом 2. На бази анализе добијених резултата могу се уочити следећи закључци. Поређењем рангираних вредности фази мере опажене вредности и нивоа фази значаја атрибута очигледно је да је за сваки атрибут ниво опажене вредности мањи од значаја, што говори да су атрибути услуге врло значајни за корисника, али опажена вредност атрибута није на задовољавајућем нивоу и да је потребно повећати. На основу рангирања нивоа значаја и опаженог нивоа вредности атрибута уочава се да су најзначајнији атрибут: брз одговор на захтев корисника (A2), комплетност услуге испоруке (A4) и праћење терета у реалном времену (A9). Рангирањем атрибута преко односа $RSFZ_i = R(SA_i)/R(FZOT_i)$ утврђено је да се сви атрибути налазе у границама између 0 и 1 што значи да су њихове вредности изнад адекватног нивоа али и даље испод жељеног нивоа услуге. Потребно је побољшавати вредности атрибута, како би се повећало задовољство корисника.

Табела 2: Рангиране вредности P_i , T_i , SA_i , $FZOT_i$ и $RSFZ_i$ за све атрибуте услуга

Атрибути услуга	$SA_i = (s_{1i}, s_{2i}, s_{3i})$			$FZOT_i = (f_{1i}, f_{2i}, f_{3i})$			Ранг опажене вредности атрибута P_i	Ранг значаја атрибута T_i	Ранг вредности SA_i (1)	Ранг вредности $FZOT_i$ (2)	Ранг i -тог атрибута $RSFZ_i$ (1)/(2)
	s_{1i}	s_{2i}	s_{3i}	f_{1i}	f_{2i}	f_{3i}	$R(P_i)$	$R(T_i)$	$R(SA_i)$	$R(FZOT_i)$	$RSFZ_i$
A_1	-5	0.3425	5	-4	0.9579	5	4.5039	5.2228	0.2283	0.8053	0.2835
A_2	-5	0.2573	5	-5	0.8102	5	4.5109	5.3495	0.1715	0.5402	0.3176
A_3	-4	0.3154	5	-5	0.7259	5	4.6844	5.2982	0.3769	0.4839	0.7789
A_4	-5	0.2247	5	-4	0.8153	5	4.5698	5.3089	0.1498	0.7102	0.2109
A_5	-5	0.4383	5	-4	0.9735	5	4.5340	4.8909	0.2922	0.8157	0.3582
A_6	-5	0.3030	5	-3	0.9203	5	4.4969	5.1502	0.2020	0.9469	0.2133
A_7	-5	0.3012	6	-4	1.0026	6	4.5423	5.2830	0.3674	1.0017	0.3668
A_8	-5	0.4528	5	-4	0.9161	5	4.5918	5.2882	0.3019	0.7774	0.3883
A_9	-5	0.2247	5	-4	0.8153	5	4.5698	5.3089	0.1498	0.7102	0.2109
A_{10}	-5	0.4322	6	-4	1.0319	6	4.5510	5.2456	0.4548	1.0213	0.4453

4. ЗАКЉУЧАК

Зона толеранције представља иновативан концепт који се показао као врло ефикасан при анализи квалитета услуга и задовољства корисника. Применом фази приступа омогућава се боље описивање и моделирање лингвистичких израза којима корисници описују вредност и значај атрибута квалитета услуге. Поступак који је развијен и тестиран у овом раду је применљив у реалним условима. Међутим, развијени модел је неопходно даље дограђивати. Резултати који су добијени показују у којој мери атрибути квалитета логистичке услуге задовољавају очекивања корисника, односно које атрибуте је потребно хитно побољшавати, које би било добро побољшати, а који могу остати непромењени. Поставља се питање да ли све атрибуте треба истовремено унапређивати или постоје приоритет. Да би се утврдили приоритет унапређења потребно је извршити нормализацију фази значаја и фази ранга атрибута и на бази анализе нормализованих вредности одредити приоритет унапређења квалитета логистичке услуге, што ће бити предмет будућих истраживања.

ЗАХВАЛНИЦА - Овај рад је делимично подржан од стране Министарства науке, просвете и технолошког развоја Републике Србије, пројекат ТР 36006, за период 2011-2016.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chang H.C., Liang G.S., C.W.C., (2012), *Prioritizing service attributes for improvement using fuzzy zone of tolerance*, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Volume8, Number 1(A), pp 75-89.
- [2] Kilibarda M., Zečević S. (2008) *Upravljanje kvalitetom u logistici*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu
- [3] Kilibarda M., Nikoličić S., Andrejić M. (2016) *Measurement of logistics service quality in freight forwarding companies: a case study of the Serbian market*, The International Journal of Logistics Management – rad prihvaćen za objavljivanje.
- [4] Lin W.C., Liang G.S., (2011), *Applying Fuzzy Zot to Explore the Customer Service Quality to the Ocean Freight Forwarder Industry in Emerging Taiwan Market*, Research Journal of Business Management 5 (2) 77-88.
- [5] Stodnick M., Marley K.A. (2013) *A longitudinal study of the zone of tolerance*, Managing Service Quality Vol. 23 No. 1,
- [6] Teas R.K., DeCarlo T.E. (2004), *An examination and extension of the zone-of-tolerance model*, Journal of Service Research, vol.6, no.3, pp.272-286.
- [7] Zeithaml, V., Parasuraman, A. and Berry, Leonard L. (1993) *The nature and determinants of customer expectations of services*, Journal of the Academy of Marketing Science, (Winter): 1-12.



ИЗБОР СЦЕНАРИЈА ЛОГИСТИЧКОГ СИСТЕМА ЦЕНТРАЛНЕ ПОСЛОВНЕ ЗОНЕ ПРИМЕНОМ ФАЗИ АНП МЕТОДЕ

SELECTING THE LOGISTICS SYSTEM SCENARIO OF THE CENTRAL BUSSINES DISTRICT BY APPLYING FUZZY ANP METHOD

СЛОБОДАН ЗЕЧЕВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, s.zecevic@sf.bg.ac.rs

СНЕЖАНА ТАДИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, s.tadic@sf.bg.ac.rs

МЛАДЕН КРСТИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, m.krstic@sf.bg.ac.rs

Резиме: У раду је приказан поступак избора сценарија логистичког система централног пословног простора (*central business district, CBD*) града у фази значајних урбанистичких промена. Сценарији су дефинисани у складу са целокупним концептом логистике града. Конфликтни циљеви интересних група генеришу велики број критеријума које је неопходно укључити у процес избора сценарија логистичког система. Због ограничених ресурса и лингвистичке оцене критеријума, за избор сценарија коришћено је фази проширења конвенционалне методе вишекритеријумског одлучивања, фази АНП метода, којом је успешно решен проблем избора сценарија развоја логистичког система за централну пословну зону Београда.

Кључне речи: *city* логистика, централна пословна зона, сценарио логистичког система, фази АНП.

Abstract: This paper presents the procedure for logistics system scenario selection for the central business district (CBD) of the city in the phase of significant urban changes. Scenarios are defined in accordance with the overall logistics concept of the city. Conflicting goals of stakeholders are generating a vast number of criteria that need to be included when selecting the scenario for logistics system. Due to limited resources and linguistic assessment of criteria, fuzzy extensions of conventional multi-criteria decision-making, fuzzy ANP method, is used by means of which the problem of the city logistics system scenario selection for the central business district of Belgrade is successfully solved.

Keywords: *city* logistics, central business district, logistics system scenario, fuzzy ANP.

1. УВОД

Са растом захтева за ефикасније снабдевање и очување животне средине расте и интересовање за *city* логистику, односно дистрибуцију робе и логистичке системе урбаних средина. У циљу добијања релевантних података и прегледа стања реализовани су велики европски и национални истраживачки пројекти. Сви они указују да је стање логистике урбаних средина прилично критично. Покренуте су многе иницијативе како би логистичке активности биле мање рутинске а притом ефикасније, нарочито са аспекта утицаја на окружење и квалитета пружања услуга. Основни проблем је недостатак планерских активности, свеобухватне и дугорочне политике *city* логистике. Одлуке градских планера су често неадекватне, без неопходних истраживања, анализа и сагледавања различитих мера и утицаја.

Атрактивне, централне градске зоне великих градова (*Central Business District, CBD*) са развојем делимично или у потпуности мењају намену. У овом раду је

применом фази АНП методе извршено рангирање различитих сценарија развоја логистичког система дела централне зоне Београда која излази на реку Дунав (Централни пословни Дунавски простор, енг. *Central Business Danube District, CBDD*). Фази АНП метода омогућава прецизнију анализу алтернатива, сценарија *city* логистике, интегрисањем међусобних узрочно-последичних веза између критеријума и алтернатива. У наставку је детаљније објашњена фази АНП метода а затим је решена студија случаја. На крају су дата закључна разматрања и предлози будућих истраживања.

2. ФАЗИ АНП МЕТОДА

АНП метода представља општи облик аналитичког хијерархијског процеса (АХП) који је увео Saaty [1]. Док АХП метода користи једносмерне хијерархијске везе између нивоа одлучивања, АНП омогућава међусобну зависност између нивоа одлучивања и елемената у много општијем облику. Концепт повратних веза у АНП приступу доводи до прелаза са

хијерархије на мрежу у којој се везе између нивоа не могу лако окарактерисати као везе вишег или нижег степена, доминантне или подређене, директне или индиректне.

Иако АНП метода представља добру технику за проблеме вредновања и доношења одлука, оцене доносиоца одлука о факторима одлучивања су често непрецизне, неодређене и двосмислене услед непотпуних информација или немогућности њихове обраде у датим условима. Са друге стране, теорија фази скупова [2] може ефикасно да се носи са двосмисленошћу у размишљању и изражавању преференције доносиоца одлука. Интегрисањем фази логике у процес поређења парова елемената, АНП метода постаје флексибилнија и даје реалније и тачније резултате.

Поступак примене фази АНП методе се састоји од следећих корака:

Корак 1: Дефинисање структуре евалуацијског модела. Након дефинисања алтернатива, у овом раду сценарија *city* логистике, формира се скуп критеријума за њихово вредновање.

Корак 2: Дефинисање фази лингвистичке скале за вредновање. Везе између елемената структуре дефинишу се на основу мишљења експерата, поређењем парова. Како би се одредили нивои међусобног утицаја елемената потребно је дефинисати лингвистичку скалу, а исказе претворити у троугласте фази бројеве (табела 1).

Табела 1: Фази скала за поређење елемената

Лингвистички израз	Фази скала
Апсолутно значајнији/боља (АЗ/Б)	(8, 9, 10)
Веома значајнији/боља (ВЗ/Б)	(7, 8, 9)
Јако значајнији/боља (ЈЗ/Б)	(6, 7, 8)
Доста значајнији/боља (ДЗ/Б)	(5, 6, 7)
Прилично значајнији/боља (ПР/Б)	(4, 5, 6)
Осредње значајнији/боља (ОЗ/Б)	(3, 4, 5)
Умерено значајнији/боља (УЗ/Б)	(2, 3, 4)
Слабо значајнији/боља (СЗ/Б)	(1, 2, 3)
Подједнако значајни/добре (ПЗ/Д)	(1, 1, 2)

Корак 3: Успостављање веза између елемената структуре. У АНП методи, врши се поређење парова елемената у сваком кластеру у складу са њиховим релативним значајем у односу на контролни елемент. Применом лингвистичких израза претворених у троугласте фази бројеве оцењује се релативни значај, односно преференција елемената у односу на остале елементе са којима је у вези. На основу поређења парова формира се фази матрица одлучивања \tilde{A}' на следећи начин:

$$\tilde{A}' = \begin{bmatrix} \tilde{a}'_{11} & \tilde{a}'_{12} & \cdots & \tilde{a}'_{1n} \\ \tilde{a}'_{21} & \tilde{a}'_{22} & \cdots & \tilde{a}'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}'_{n1} & \tilde{a}'_{n2} & \cdots & \tilde{a}'_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

где $\tilde{a}'_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ представља значај елемента i у односу на елемент j , а $i = j = 1, 2, \dots, n$.

Корак 4: Израчунавање релативних тежина елемената. За сваку матрицу поређења парова је потребно добити вектор приоритета како би се формирале различите подматрице суперматрице. Вектор приоритета се из фази матрице \tilde{A}' може добити на различите начине, а у овом раду је коришћена метода "logarithmic fuzzy preference programming" (LFPP) [3] која представља проширење "fuzzy preference programming" (FPP) методе [4].

FPP метода почиње формирањем фази матрице поређења (\tilde{A}') чији елементи представљају троугласте фази оцене $\tilde{a}'_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ поређења елемента i у односу на елемент j . У LFPP методи узима се логаритамска вредност фази оцене \tilde{a}'_{ij} из матрице \tilde{A}' која се апроксимира једначином:

$$\ln \tilde{a}'_{ij} \approx (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln u_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Односно, логаритам троугластих фази оцена \tilde{a}'_{ij} се може посматрати као апроксимиран троугласти фази број чија се функција припадности може дефинисати као:

$$\mu_{ij} \left(\ln \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right) = \begin{cases} \frac{\ln(w_i/w_j) - \ln l_{ij}}{\ln m_{ij} - \ln l_{ij}}, & \ln \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \leq \ln m_{ij}, \\ \frac{\ln u_{ij} - \ln(w_i/w_j)}{\ln u_{ij} - \ln m_{ij}}, & \ln \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \geq \ln m_{ij}, \end{cases} \quad (3)$$

где је $\mu_{ij}(\ln(w_i/w_j))$ степен припадности вредности $\ln(w_i/w_j)$ која припада апроксимираној троугластој фази оцени $\ln \tilde{a}'_{ij} = (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln u_{ij})$, а w_i су *crisp* вредности вектора приоритета $W = (w_1, \dots, w_n)^T > 0$ и важи $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Потребно је пронаћи *crisp* вектор приоритета тако да се максимизира минимални степен припадности: $\lambda = \min \{ \mu_{ij}(\ln(w_i/w_j)) \mid i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \}$.

Резултујући модел се конструише на следећи начин:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \mu_{ij}(\ln(w_i/w_j)) \geq \lambda, i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ w_i \geq 0, i = 1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

или

$$\begin{aligned} & \text{Max } 1 - \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij}/l_{ij}) \geq \ln l_{ij}, i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ -\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(u_{ij}/m_{ij}) \geq -\ln u_{ij}, i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ w_i \geq 0, i = 1, \dots, n. \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

Да би се избегло да λ добије негативну вредност уведене су ненегативне променљиве девијације δ_{ij} и η_{ij} за $i = 1, \dots, n-1$ и $j = 1, \dots, n$ тако да су испуњене следеће неједнакости:

$$\ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij}/l_{ij}) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n,$$

$$-\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(u_{ij}/m_{ij}) + \eta_{ij} \geq -\ln u_{ij}, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n.$$

Пожељно је да вредности променљивих девијације буду што мање. У складу са тим, за одређивање вредности приоритета елемената (w_i) потребно је решити следећи нелинеарни модел приоритета:

$$\begin{aligned} \text{Min } J &= (1-\lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2) \\ \text{s.t. } &\begin{cases} x_i - x_j - \lambda \ln(m_{ij}/l_{ij}) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, \\ i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \\ -x_i + x_j - \lambda \ln(u_{ij}/m_{ij}) + \eta_{ij} \geq -\ln u_{ij}, \\ i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \\ \lambda, x_i \geq 0, i=1, \dots, n, \\ \delta_{ij}, \eta_{ij} \geq 0, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

где је $x_i = \ln w_i$ за $i=1, \dots, n$, а M је константа довољно велике вредности као што је $M=10^3$.

Нека је x_i^* ($i=1, \dots, n$) оптимално решење модела (6). Нормализоване вредности критеријума за фази матрицу поређења $\tilde{A}' = (\tilde{a}'_{ij})_{n \times n}$ се добијају као:

$$w_i^* = \frac{\exp(x_i^*)}{\sum_{j=1}^n \exp(x_j^*)}, i=1, \dots, n, \quad (7)$$

где је $\exp()$ експоненцијална функција, односно, $\exp(x_i^*) = e^{x_i^*}$ за $i=1, \dots, n$. Ова метода као резултат даје *crisp* нормализоване тежине.

Како би се контролисали резултати методе потребно је израчунати коефицијенте конзистентности (*Consistency Ratio* – *CR*) за сваку матрицу. *CR* се рачуна на следећи начин [1]:

$$CR = CI / RI, \quad (8)$$

где *CI* представља индекс конзистентности (*Consistency Index*) и рачуна се као:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (9)$$

λ_{\max} је Перонов корен или главна сопствена вредност (*eigenvalue*) матрице \tilde{A}' . *RI* се односи на индекс случајности (*Random Index*) чије се вредности за матрице различитих димензија могу видети у раду [1]. *CR* се користи за проверу конзистентности поређења парова и мора бити мањи од 0,10. Само тада се може рећи да су поређења прихватљива.

Корак 5: Формирање суперматрице (W). АНП метода подразумева формирање суперматрице у циљу утврђивања ефеката међусобне зависности елемената мрежне структуре. Суперматрица се састоји из делова, односно скупова квантификованих односа између елемената који се могу налазити у истом или у различитим кластерима. Општи приказ хијерархије суперматрице (W) са три нивоа је следећи:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C & K & A \end{matrix} \\ \begin{matrix} Cilj (C) \\ Kriterijumi (K) \\ Alternative (A) \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

где је W_{21} вектор који представља утицај циља на критеријуме, W_{22} је вектор који представља међусобни утицај критеријума, W_{32} је вектор који представља утицај критеријума на сваку од алтернатива, а I је јединична матрица [5].

Корак 6: Добијање граничне суперматрице. Подизањем суперматрице на степен $2p + 1$, где је p довољно велики број, долази до конвергирања матрице, односно вредности по редовима матрице конвергирају ка истим вредностима за сваку колону матрице [6]. Новодобијена матрица се назива граничном суперматрицом.

3. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

Еволуцијом урбаних средина, мењале су се и форме и физичке компоненте набавке, складиштења и дистрибуције робе. Планирање и регулација логистичких активности своди се на примену градских уредби које дефинишу време испоруке, димензије или носивост доставних возила. Ретки су градови у којима се логистика посматра као сервис коме треба помоћ да се организује на много ефикаснији начин.

Београд се, слично многим градовима на реци, углавном развијао и радијално-концентрично ширио у односу на традиционални центар и речну луку. У почетним фазама развоја, многе трговачко-дистрибутивне, индустријске фирме повољно су насељавале луку и њено окружење и развијале своју складишно-дистрибутивну активност. Активности које су се реализовале на овом простору имале су значајне негативне утицаје на окружење са економског, еколошког и социјалног аспекта [7].

Кључни елементи за дефинисање будућег концепта логистике *CBDD*-а су: узроци насељавања посматраног подручја; могућност иселавања, дислокације; неопходност постојања одређених система на локацији; место и улога логистичког система *CBDD* у логистици града; и компатибилност логистичких садржаја са новим плановима развоја *CBDD*. За решавање проблема дефинисана су три сценарија развоја логистичког система *CBDD*-а [7]: *Сц.1 - Сценарио минималних инфраструктурних промена*. Увођење нових технологија у постојеће логистичке системе са задржавањем функција луке и железничке теретне станице; *Сц.2 - Сценарио значајних промена*. Измештање дела логистичких и пратећих система са посматраног подручја, модернизација интермодалног терминала, развој *city* логистичког терминала и примена еко-возила; *Сц.3 - Сценарио потпуних промена*. Дислокација луке и железничке теретне станице, развој *city* логистичког терминала минималне конфигурације, примена карго трамваја и еко-возила.

Дефинисани сценарији међусобно се могу разграничити у погледу низа критеријума [8]: *К1* - Степен

загушења саобраћаја тешким теретним возилима на прилазним пунктовима и саобраћајницама на подручју CBDD, K2 - Степен заузетости простора логистичким системима који нису неопходни на подручју, K3 - Инвестиције за развој система, K4 - Трошкови испоруке робе, K5 - Временски губици у довозно-одвозном транспорту, K6 - Квалитет логистичке услуге, K7 - Еколошки и енергетски аспект, K8 - Безбедносни аспекти, K9 - Комплексност логистичких ланаца, K10 - Технолошко и визуелно уклапање логистичког система у урбано окружење.

Дефинисани сценарији и критеријуми представљају елементе структуре проблема између којих се успостављају везе чиме се формира мрежна структура. Затим се врши поређење парова елемената у односу на контролни елемент са којим су у вези. У табели 2 је приказано поређење критеријума у односу на критеријум K1.

Табела 2: Оцене критеријума у односу на K1

	K2	K4	K5	K6	K7	K8
K2	/	УЗ	ПР	ПР	АЗ	ЈЗ
K4		/	УЗ	УЗ	ЈЗ	ПР
K5			/	ПЗ	ПР	УЗ
K6				/	ПР	УЗ
K7					/	
K8						/

Решавањем нелинеарног модела (6) за дати скуп подкритеријума добијене су вредности тежина подкритеријума (K2, K4, K5, K6, K7, K8) = (0.662, 0.221, 0.029, 0.029, 0.015, 0.044). Коefицијент конзистентности за матрицу поређења ЕК подкритеријума је CR = 0.047. Исти поступак је поновљен и за све остале матрице поређења критеријума и сценарија. Поређења сценарија у односу на сваки критеријум су приказани у раду [9].

Од добијених вредности је формирана суперматрица. Вредности коefицијената конзистентности за све матрице су биле мање од 0.1. Подизањем суперматрице на довољно велики степен добијена је гранична суперматрица а на основу конвергираних вредности алтернатива из граничне суперматрице извршено је рангирање алтернатива, што је приказано у табели 3. Из табеле се може видети да је као најповољнији сценарио развоја логистичког система централне пословне зоне Београда изабран сценарио 3, сценарио потпуних промена.

Табела 3: Коначан поредак сценарија city логистике

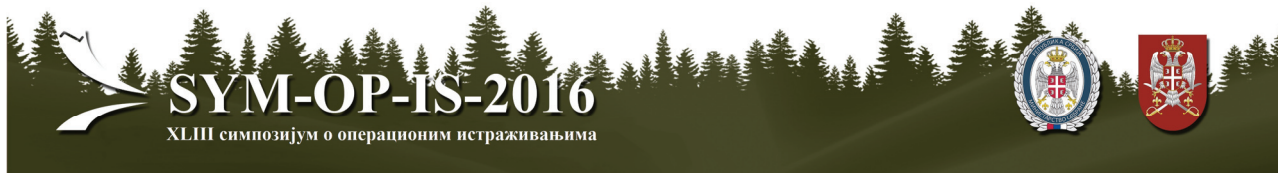
Сценарио	Сц. 1	Сц. 2	Сц. 3
Конв. вредност	0.04394	0.14049	0.31556
Ранг	3	2	1

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је применом фази АНП методе решаван проблем избора сценарија развоја логистичког система централне пословне зоне Београда. У фази АНП методи се формира мрежна структура којом се описују зависности и повратне везе између елемената структуре, што омогућава АНП методи да адекватно моделира и систематично сагледава комплексне реалне проблеме. Циљ рада је био да се применом фази АНП методе, у датим околностима, изабере најприкладнији сценарио city логистике на бази дефинисаних критеријума који су обухватили више мерљивих и немерљивих фактора који утичу на оцену сценарија и обезбеђују холистички приступ решавања проблема. Будућа истраживања би могла да се крећу у правцу проширивања скупа критеријума као и њихово оцењивање у односу на више различитих интересних група, учесника city логистике. Осим тога, и сама метода решавања проблема би могла да се прошири или комбинује са неким другим методама у циљу постизања квалитетнијих решења или смањења комплексности проблема.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Saaty, T. L. *The analytic network process*. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.
- [2] Zadeh, L. A. "Fuzzy sets", *Information & Control*, 8 (1965) 338–353.
- [3] Wang, Y.M. & Chin, K.S. "Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology", *International Journal of Approximate Reasoning*, 52 (2011) 541–553.
- [4] Mikhailov, L. "Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments", *Fuzzy Sets and Systems*, 134 (2003) 365–385.
- [5] Saaty, T.L. & Takizawa, M. "Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks", *European Journal of Operational Research*, 26 (1986) 229–237.
- [6] Lee, H., Kim, C., Cho, H. & Park, Y. "An ANP-based technology network for identification of core technologies: A case of telecommunication technologies", *Expert Systems with Applications*, 36(1) (2009) 894–908.
- [7] Zečević, S., Razvojni koncept logističkog sistema na području Ada Huje, Expert Research, Urban Planning Institute of Belgrade, Belgrade, 2006
- [8] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M., 2014a. Ranking of Logistics System Scenarios for Central Business District. *Promet – Traffic&Transportation*, 26(2) (2014) 159-167
- [9] Tadić, S., Zečević, S. "Rangiranje scenarija logističkog sistema primenom kombinovanog fazi AHP-VIKOR modela", *Simpozijum operacionih istraživanja - SYMOP-IS*, (2014), Divčibare, 311-316.



ЛОЦИРАЊЕ ТЕРМИНАЛА CITY ЛОГИСТИКЕ ПРИМЕНОМ ФАЗИ ДАНП МЕТОДЕ

LOCATING CITY LOGISTICS TERMINAL BY APPLYING FUZZY DANP METHOD

СНЕЖАНА ТАДИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, s.tadic@sf.bg.ac.rs

СЛОБОДАН ЗЕЧЕВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, s.zecevic@sf.bg.ac.rs

МЛАДЕН КРСТИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, m.krstic@sf.bg.ac.rs

Резиме: Избор локације city логистичког терминала (СЛТ) утиче на велики број параметара урбане средине и логистичких токова, планирање и развој града. Приликом избора локације СЛТ-а морају се размотрити циљеви и интереси свих интересних група (становници, пошиљаоци и примаоци, реализатори транспорта и градска управа), а они су често конфликтни. Из различитих циљева и интереса произилази велики број економских, инфраструктурних, социо-политичких, природних и еколошких критеријума које је неопходно укључити у процес избора локације СЛТ-а. Због ограничених ресурса (време, трошкови, базе података), велики број критеријума се оцењује лингвистичким исказом, што није погодно за примену оптимизационих или конвенционалних метода вишекритеријумског одлучивања. Осим тога проблем може представљати и обједињавање оцена доносиоца одлука који припадају различитим интересним групама. Из наведених разлога, за избор локације СЛТ-а у овом раду је развијена fuzzy Delphi based fuzzy ANP (фази ДАНП) метода. Фази Delphi део је употребљен за добијање обједињених оцена доносиоца одлука, на основу којих су применом фази АНП методе добијене тежине критеријума и подкритеријума и изабрана најповољнија локација. Применљивост методе је тестирана на примеру лоцирања СЛТ-а у Београду.

Кључне речи: city логистички терминал, локација, фази Делфи, фази АНП.

Abstract: City logistics terminal (CLT) location selection affects great number of urban environment and logistics flows parameters, as well as planning and development of the city. When selecting CLT location, conflicting goals and interests of all stakeholders (residents, shippers and recipients, transport operators and municipal administration) have to be taken into account. A vast number of economical, infrastructural, socio-political, natural and ecological criteria arise from these different goals and interests, and it is necessary to include them in the CLT location selection process. Because of the restricted resources (time, costs, data bases), majority of these criteria are assessed with linguistic statements, which is not suitable for application of the optimization or conventional methods of multi-criteria decision making. Besides that, unifying the evaluations of different stakeholders could also be the problem. Considering that, in this paper a fuzzy Delphi based fuzzy ANP (fuzzy DANP) method is used for locating CLT. Fuzzy Delphi part is used for obtaining unified evaluations of the decision makers, based on which the weights of criteria and sub-criteria are obtained and the most appropriate location selected by using the fuzzy ANP method. The applicability of the method is tested on the case study of locating the CLT in the City of Belgrade.

Keywords: city logistics terminal, location, fuzzy Delphi, fuzzy ANP.

1. УВОД

Град је место највеће концентрације привредних и друштвених делатности, а логистика је изузетно важна активност за одрживост и економију града. Стални пораст загушења и све већи број теретних возила, загађење ваздуха и остали негативни утицају на животну средину, као и неефикасно коришћење земљишта у урбаним срединама утиче на развој алтернативних логистичких решења за отклањање проблема робног транспорта у граду. Једно од решења је и увођење city логистичког терминала – СЛТ.

За ефикасну и ефективну реализацију логистичких активности у граду, пре свега теретног транспорта, заинтересоване су све функције и све структуре града (пошиљаоци, примаоци, превозници, логистички провајдери, становници, управа града) [1]. Сви они имају један заједнички циљ: атрактиван град по економским, социјалним, саобраћајним, еколошким, културним и другим критеријумима. Међутим, појединачни циљеви налазе се у конфликту и увођење промене, која је посматрано са стране једне групе позитивна, код осталих може изазвати низ негативних ефеката. Конфликтни циљеви присутни су и код одлуке о локацији city логистичког терминала, а

проблем је могуће решити дефинисањем великог броја критеријума који ће у обзир узети различите захтеве и интересе заинтересованих страна, због чега је оправдано применити вишекритеријумско одлучивање за избор локације терминала.

У раду је описан проблем избора локације логистичког центра у урбаној средини. Приказана је методологија решавања проблема применом фази ДАНП методе и демонстрирана њена применљивост у избору локације СЛТ на територији града Београда.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Проблеми снабдевања града робом и извлачења материјала из градских средина су присутни и решавани у складу са различитим степеном економског, културног, технолошког и других аспеката развоја друштва. Достава робе је предуслов за одржавање урбаног живота и пословних активности којима се остварује богатство и развој градских средина. *City* логистички токови имају обележја парцијалности, просторне дисперзије генератора, разноликости у погледу структуре логистичких ланаца, динамичности, стохастичности итд [2]. Све ово негативно утиче на економију града, услове живота, мобилност и животно окружење. Поменути проблеми и комплексност логистике у градским срединама, али и социолошке, културолошке, демографске особености града, архитектонско наслеђе, навике и схватања становништва, условили су развој различитих концепција *city* логистике [3, 4]. У мноштву различитих концепцијских решења издвајају се логистички центри. Концепт се заснива на усмеравању робних и транспортних токова различитих провајдера на логистички центар и консолидованој испоруци до генератора на подручју урбане средине. Логистички центри имају важну улогу не само у ланцу снабдевања већ и у планирању логистике града као целине, а њихова локација има значајан утицај на перформансе *city* логистике, односно велики број параметаре урбане средине и логистичких токова [5, 6]. Из овог разлога избор локације *city* логистичког терминала захтева учешће различитих интересних група: локалних власти, потенцијалних оператера, трговачких удружења, локалне логистичке компаније, потенцијалних корисника итд.

Београд са два милиона становника и површином од око 3200 км² представља административни, културни, образовни, политички и здравствени центар државе. Слично многим метрополама у свету и Београд живи са проблемима логистике. Наглашени развој стамбене изградње на периферији и концентрација пословних активности у централном подручју, нису благовремено праћени плановима и улагањима у развој логистичког система, па је настала диспропорција између логистичке тражње и могућности да се захтеви квалитетно задовоље. У досадашњој пракси, проблеми логистике разматрали су се делимично са аспекта транспорта, док се остали подсистеми (претовар, складиштење, поручивање, паковање) потпуно занемарују. У саобраћајној политици

града мало пажње је посвећено теретном транспорту и углавном се решавају проблеми путничког транспорта и гужви које он ствара. Осим тога, активности и процеси логистике минимално и веома површно се разматрају у свим урбаним плановима. Поред превазиђеног концепта структурирања, недовољног искоришћења простора и застареле технологије, недостатка претоварних места, неповезаности друмског, речног и железничког транспорта, превоза опасних материја кроз централну градску зону, Београду недостаје и сценарио логистике који би био у складу са развојним концепцијама града. Логистика града је без потребног степена концентрације и консолидације токова и даваоца логистичких услуга [7].

Као што је речено, у великом броју концепцијских решења издвајају се, а често и интегрисано примењују, кооперативни логистички системи и логистички центри за прихват даљинских токова и консолидовану испоруку до генератора на подручју града. С обзиром на веома значајну улогу логистичког центра у реализацији логистичких токова, али и у планирању логистичког система града, неопходно је утврдити оптималну локацију за његову изградњу. За избор локације СЛТ, дефинисано је пет група критеријума [8]: економски (ЕК), инфраструктурни (ИН), социополитички (СО), природни (ПР) и еколошки (ЕН). Групом економских критеријума су обухваћени следећи подкритеријуми: Цена земљишта (K_1), Трошкови транспорта (K_2), Близина корисника (K_3), Привредни развој (K_4), Загушење саобраћаја (K_5) и Трошкови изградње (K_6). Групу инфраструктурних критеријума чине подкритеријуми: Изграђеност саобраћајне инфраструктуре (K_7), Мултимодалност (K_8), Степен изграђености (K_9), Комунална инфраструктура (K_{10}), Могућност проширења (K_{11}), Доступност локације (K_{12}) и Безбедност локације (K_{13}). Групу социополитичких критеријума чине подкритеријуми: Власништво земљишта (K_{14}), Близина насељеног подручја (K_{15}), Усклађеност са просторним плановима (K_{16}), Усклађивање са регулативама (K_{17}) и Безбедност саобраћаја (K_{18}). Групу природних критеријума чине подкритеријуми: Временски услови (K_{19}), Геолошки услови (K_{20}), Хидролошки услови (K_{21}) и Топографски услови (K_{22}). Групу еколошких критеријума чине подкритеријуми: Загађење ваздуха (K_{23}), Емисија буке и вибрација (K_{24}), Нарушавање природног окружења (K_{25}), Утицај окружења на робу (K_{26}) и Визуелно уклапање у окружење (K_{27}).

На основу дефинисаних критеријума и подкритеријума су вредноване потенцијалне локације СЛТ-а (алтернативе): Панчевачки рит - A_1 , Лука "Београд" - A_2 , Ада Хуја - A_3 , Батајница - A_4 , Бродоградилеж - A_5 , Раковица - A_6 и Кумодраж - A_7 . Потенцијалне локације су изабране на основу "Генералног плана Београда 2021", као локације на којима је планирана изградња логистичких садржаја, а њихово вредновање је извршено са аспекта различитих интересних група: инвеститора (ИНВ), градске управе, односно становништва (ГиС) и потенцијалних корисника (КОР) СЛТ-а.

3. ИЗБОР ЛОКАЦИЈЕ CITY ЛОГИСТИЧКОГ ТЕРМИНАЛА У БЕОГРАДУ

За решавање проблема избора локације city логистичког терминала у овом раду је коришћена *fuzzy Delphi based fuzzy ANP* методе. Први корак примене методе јесте дефинисање структуре проблема, односно дефинисање алтернатива, потенцијалних локација терминала, и формирање скупа критеријума и подкритеријума за њихово вредновање, што је описано у претходном поглављу рада. За овако постављен проблем врши се анализа у циљу утврђивања релативних тежина критеријума и подкритеријума и вредности алтернатива, потенцијалних локација, у односу на критеријума и подкритеријуме. Анализа подразумева поређење свих парова критеријума, подкритеријума и потенцијалних локација са аспекта различитих интересних група (ИНВ, КОР и ГиС). За поређење је коришћена лингвистичка скала која се може претворити у троугласте фази бројеве приказане у табели 1.

Табела 1: Фази скала за поређење елемената

Лингвистичка оцена	Скраћеница	Фази скала
Никакав	НИ	(1, 1, 2)
Веома низак	ВН	(1, 2, 3)
Низак	Н	(2, 3, 4)
Умерено низак	УН	(3, 4, 5)
Средњи	С	(4, 5, 6)
Умерено висок	УВ	(5, 6, 7)
Висок	В	(6, 7, 8)
Веома висок	ВВ	(7, 8, 9)

Различите оцене припадника интересних група су обједињене применом следећих једначина које представљају део *fuzzy Delphi* методе (адаптирано [9]):

$$\tilde{\delta}_{ij} = (\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}) \quad (1)$$

$$\alpha_{ij} = \text{Min}(l_{ijl}), l = 1, \dots, o \quad (2)$$

$$\beta_{ij} = \left(\prod_{l=1}^o m_{ijl} \right)^{1/o}, l = 1, \dots, o \quad (3)$$

$$\gamma_{ij} = \text{Max}(u_{ijl}), l = 1, \dots, o \quad (4)$$

где су α_{ij} , β_{ij} и γ_{ij} лева, вредност са највећим степеном припадности и десна вредност јединствене фази оцене δ_{ij} , респективно, и важи $\alpha_{ij} \leq \beta_{ij} \leq \gamma_{ij}$. l_{ijl} , m_{ijl} и r_{ijl} су лева, вредност са највећим степеном припадности и десна вредност троугластих фази оцена \tilde{a}_{ijl} које указују на значај елемента (критеријума, подкритеријума, потенцијалне локације) i у односу на елемент j са аспекта припадника интересне групе l . o је број припадника интересних група који врше вредновање. Применом релација (1)-(4) добијају се јединствене оцене поређења парова на основу којих се формирају фази матрице одлучивања $\tilde{\Delta}$ на следећи начин:

$$\tilde{\Delta} = \begin{bmatrix} / & \tilde{\delta}_{12} & \dots & \tilde{\delta}_{1n} \\ \tilde{\delta}_{21} & / & \dots & \tilde{\delta}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\delta}_{n1} & \tilde{\delta}_{n2} & \dots & / \end{bmatrix} \quad (5)$$

За сваку матрицу поређења парова је потребно добити вектор приоритета како би се формирале различите подматрице суперматрице. Вектор приоритета се из фази матрице $\tilde{\Delta}$ може добити на различите начине, а у овом раду је коришћена метода "*logarithmic fuzzy preference programming*" (LFPP) [10] која вредност фази оцене $\tilde{\delta}_{ij}$ из матрице $\tilde{\Delta}$ апроксимира релацијом:

$$\ln \tilde{\delta}_{ij} \approx (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln r_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

За одређивање вредности приоритета елемената (w_i) потребно је решити следећи нелинеарни модел приоритета:

$$\begin{aligned} \text{Min } J &= (1 - \lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\varepsilon_{ij}^2 + \eta_{ij}^2) \\ \text{s.t. } &\begin{cases} x_i - x_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) + \varepsilon_{ij} \geq \ln l_{ij}, \\ i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ -x_i + x_j - \lambda \ln(r_{ij} / m_{ij}) + \eta_{ij} \geq -\ln r_{ij}, \\ i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ \lambda, x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, \\ \varepsilon_{ij}, \eta_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

где је $x_i = \ln w_i$ за $i=1, \dots, n$, а M је константа довољно велике вредности као што је $M=10^3$. ε_{ij} и η_{ij} за $i=1, \dots, n-1$ и $j=1, \dots, n$ су ненегативне променљиве девијације које се уводе да би се избегло да λ добије негативну вредност. Пожељно је да вредности променљивих девијација буду што мање, а морају бити испуњене неједнакости:

$$\begin{aligned} \ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) + \varepsilon_{ij} &\geq \ln l_{ij}, \\ i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ -\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(r_{ij} / m_{ij}) + \eta_{ij} &\geq -\ln r_{ij}, \\ i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n. \end{aligned}$$

Нека је $x_i^* (i=1, \dots, n)$ оптимално решење модела (7). Нормализоване вредности критеријума за фази матрицу поређења $\tilde{\Delta} = (\tilde{\delta}_{ij})_{n \times n}$ се добијају као:

$$w_i^* = \frac{\exp(x_i^*)}{\sum_{j=1}^n \exp(x_j^*)}, i = 1, \dots, n, \quad (8)$$

где је $\exp()$ експоненцијална функција, односно, $\exp(x_i^*) = e^{x_i^*}$ за $i=1, \dots, n$. Како би се контролисали резултати методе потребно је израчунати коефицијенте конзистентности (*Consistency Ratio – CR*) за сваку матрицу и свеукупну неконзистентност хијерархијске структуре.

АНП метода подразумева формирање суперматрице у циљу утврђивања ефеката међусобне зависности елемената мрежне структуре. Суперматрица се састоји од скупова квантификованих односа између елемената који се могу налазити у истом или у различитим кластерима. Подизањем суперматрице на степен $2n + 1$, где је n довољно велики број, долази до конвергирања матрице. Новодобијена матрица се назива граничном суперматрицом. Конвергиране вредности по потенцијалним локацијама из граничне суперматрице се узимају као вредности на основу којих се локације рангирају.

У складу са претходно описаном методологијом, најпре је формирана мрежна структура проблема повезивањем елемената (критеријума, подкритеријума и алтернатива) који су међусобно зависни. Затим је извршено поређење парова елемената у односу на друге елементе од којих зависе са аспекта различитих интересних група. У табели 2 је приказано поређење економских подкритеријума у односу на подкритеријум K_{15} (ИНВ, КОР, ГиС). Применом једначина (1)-(4) формиране су јединствене оцене поређења парова подкритеријума приказане у табели 3.

Табела 2: Оцене ЕК подкритеријума у односу на K_{15}

K_1	K_2	K_6
K_1 /	(ВН, -, ВН)	(ВН, -, НИ)
K_2 (-, В, -)	/	(-, УВ, -)
K_6 (ВН, ВН, -)	(Н, -, ВН)	/

Табела 3: Јединствене оцене ЕК подкритеријума (K_{15})

K_1	K_2	K_6
K_1 /	(0.5, 0.8, 1.2)	(0.7, 1, 1.8)
K_2 (0.9, 1.2, 2)	/	(0.7, 1, 1.5)
K_6 (0.8, 1.6, 2.1)	(0.6, 1, 1.3)	/

Решавањем нелинеарног модела (7) за дати скуп подкритеријума добијене су вредности тежина подкритеријума (K_1, K_2, K_6) = (0.240, 0.379, 0.381). Коэффициент конзистентности за матрицу поређења ЕК подкритеријума је $CR = 0.09$. Исти поступак је поновљен и за све остале групе подкритеријума и алтернатива, а од добијених тежина је формирана суперматрица. Вредности коэффицијента конзистентности за све матрице су биле мање од 0.1. Подизањем суперматрице на довољно велики степен добијена је гранична суперматрица а на основу конвергираних вредности алтернатива из граничне суперматрице извршено је рангирање алтернатива, што је приказано у табели 4. Из табеле се може видети да је као најповољнија алтернатива за лоцирање *city* логистичког терминала изабрана локација A_4 – Батајница.

Табела 4: Коначан поредак потенцијалних локација

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
0.029	0.031	0.020	0.121	0.038	0.082	0.086
6	5	7	1	4	3	2

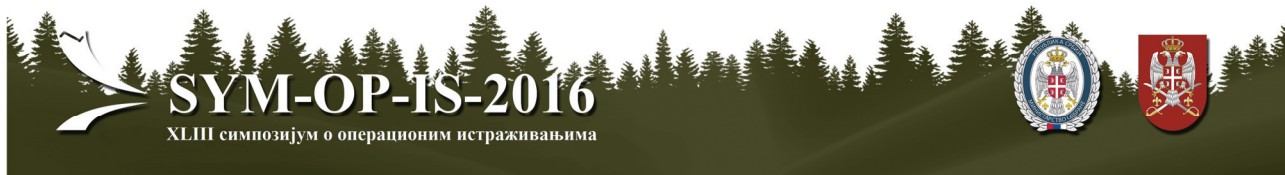
4. ЗАКЉУЧАК

Циљ рада је био да се применом фази ДАНП методе ускладе различити захтеви и циљеви интересних група и изврши рангирање потенцијалних локација *city* логистичког терминала. Дефинисана је структура проблема, а решавањем примера избора локације СЛТ-а на територији града Београда демонстрирана је применљивост предложене методологије. Фази ДАНП метода омогућава да се у обзир узме велики број критеријума, обједине различите оцене интересних група и да се на адекватан начин узме у обзир двосмисленост и нејасноће у људском размишљању. У даљим истраживањима би Делфи метода могла да се користи и за издвајање скупа најбитнијих критеријума за све интересне групе чиме би се смањиле димензије проблема. Осим тога интересним групама могу се доделити различите тежине, а у зависности од околности разматрања проблема.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zečević, S., Kilibarda, M., Radivojević, L. & Tadić, S. City logističke koncepcije. In *Prilog unapređenju teorije i prakse planiranja i implementacije*, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije. p. 251-259, 2002.
- [2] Zečević, S. & Tadić, S. *City logistika*. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 2006
- [3] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M. Inicijative city logistike u cilju poboljšanja održivosti promenom konteksta urbane sredine. *Tehnika*, 61(5) (2014a) 834-843
- [4] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M. Inicijative city logistike u cilju poboljšanja održivosti unutar postojećeg konteksta urbane sredine. *Tehnika*, 61(3) (2014b) 487-495
- [5] Tadić, S. Modeliranje performansi integrisanih city logističkih sistema. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, PhD, 2014
- [6] Tadić S., Zečević S. *Modeliranje koncepcija city logistike*, Saobraćajni fakultet, Beograd 2016
- [7] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M. A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection. *Expert Systems with Applications*, 41(18) (2014c) 8112-8128
- [8] Tadić, S., Zečević, S., Krstić, M. City logistics terminal location selection using combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS analysis. *ICTTE*, (2012) Beograd, 345-358
- [9] Mikaeil, R., Ozcelik, Y., Yousefi, R., Ataei, M. & Hosseini, S.M. "Ranking the sawability of ornamental stone using Fuzzy Delphi and multi-criteria decision-making techniques", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 58 (2013) 118-126.
- [10] Wang, Y.M. & Chin, K.S. "Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology", *International Journal of Approximate Reasoning*, 52 (2011) 541-553.

МАТЕМАТИЧКО ПРОГРАМИРАЊЕ



PREVENTIVE RAILWAY MAINTENANCE SCHEDULING PROBLEM BASED ON VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH HEURISTIC

DANIJELA ĐORIĆ

LAMIH-UMR CNRS 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France e-mail: danijela.djoric@gmail.com

RACHID BENMANSOUR

LAMIH-UMR CNRS 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France e-mail: rachid.benmansour@univ-valenciennes.fr

RITA MACEDO

LEM-UMR CNRS, 9221 – Université de Lille, Lille Economie Management, F-59000 Lille, France e-mail: rita.macedo@univ-lille3.fr

NENAD MLADENVIĆ

LAMIH-UMR CNRS 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France

Mathematical Institute, Serbian Academy of Science and Art, Kneza Mihaila 36, 11000 Belgrade, Serbia e-mail: nenadmladenovic12@gmail.com

DRAGAN UROŠEVIĆ

Mathematical Institute, Serbian Academy of Science and Art, Kneza Mihaila 36, 11000 Belgrade, Serbia e-mail: draganu@turing.mi.sanu.ac.rs

Abstract: *To schedule a preventive maintenance work on the railway infrastructure is a difficult task, since many constraints have to be considered. Carrying out maintenance on the rail infrastructure usually involves many disturbances for the travellers (e.g. delays, cancelled trains), because there are restrictions on movement of trains due to running repairs on infrastructure. Since the railway infrastructure maintenance is very difficult to plan and involves high costs, there is a need for developing operations research tools, which help the maintenance planners to come up with optimal maintenance plans. In this paper we consider the optimization of preventive maintenance scheduling problem taking into account planning horizon, routines and projects with the aim to minimize total maintenance costs. To solve this problem, we propose a Variable Neighborhood Search based heuristic. The computational results reveal that the proposed variable neighborhood search heuristic achieved better results for 3.5% than the other existing heuristic approaches.*

Keywords: *Maintenance, railway infrastructure, optimization, variable neighbourhood search*

1. INTRODUCTION

The preventive maintenance scheduling problem (PMSP), was introduced by Budai et al. [1], where a schedule for maintenance activities has to be found for one link so that the sum of possession costs and the maintenance costs are minimized. The aim is to consider the clustering of the maintenance activities on the same link in a network in order to reduce the disturbance of railway traffic. A mathematical programming formulation and three heuristics are proposed to solve this NP-Hard problem. When the number of routine jobs increases, then it is difficult to solve the PMSP to optimality within a few hours. Therefore, the need to propose some new approximate approach techniques is obvious.

We propose a General Variable Neighborhood Search (GVNS) [2] algorithm to solve large instances of the problem.

2. PROBLEM DESCRIPTION

There is a set of maintenance activities to perform during the planning horizon composed of $|T|$ time periods (labelled by integer numbers between 1 and $|T|$). We consider two different kinds of maintenance activities: routine jobs and projects, the first having shorter duration than the second. Routine jobs, such as inspections, cleaning operations, and small repairs, are conducted on periodic basis, whereas projects are considered to be conducted once within the horizon (ballast cleaning, rail grinding, etc.). More formally, the maintenance activities to be performed belong to one of the two different sets: routine maintenance activities (RA) or projects (PA). The

set of all activities is therefore defined as $A = RA \cup PA$. Routine maintenance activities are performed at a single period and are cyclic. Each activity $a \in RA$ has a defined length of maximum allowed time interval between two consecutive repetitions of activity a (L^a), and the frequency F^a ($F^a = |T| / L^a$). Note that the last execution of routine a in planned horizon must be performed in time period belonging to subset $LC^a = \{t \mid |1 + |T| - L^a \leq t \leq |T|\}$. Also, the number of time periods elapsed since routine $a \in RA$ was in the past (G^a), before the planning horizon, is known. Projects are performed only once but their duration (D_p denote the duration of project p) is typically larger than one period. Each project $p \in PA$ must begin at a period belonging to a defined interval T_p while its activities continue to be performed during the $D_p - 1$ subsequent periods. Each of the performed activities (routine or project) has some cost (with mc_a is denoted maintenance cost per time period for performing routine or project a). Whenever at least one activity is performed at a period $t \in T$, the rail link must be closed and the system incurs into a holding cost pc_t (possession cost). This cost is independent of the number of activities being performed. Hence, it is interesting to try to combine the activities to be allocated to the same periods. The total cost of maintenance is the sum of all possession and maintenance costs. However, there are some of activities that are incompatible. A given set $C = \{(a1, a2) \mid \text{activities } a1, a2 \in A \text{ can be performed at the same period}\}$ defines the compatible activities, i.e. the pairs of activities that can be performed at the same period.

This problem including proposed mathematical model, as we have mentioned, was first described by Budai et al. [1]. The following binary decision variables are introduced:

- x_t^a binary variable which denote whether activity $a \in A$ is assigned to period $t \in T$ ($x_t^a = 1$), or not ($x_t^a = 0$)
- z_t^a binary variable which denote whether routine activity $a \in RA$ is assigned, for the last time in planning horizon to time period $t \in LC^a$ ($z_t^a = 1$), or not ($z_t^a = 0$)
- m_t binary variable which denote whether the rail link occupied for performing any maintenance activity is in time period $t \in T$ ($m_t = 1$), or not ($m_t = 0$)
- y_t^p binary variable which denote whether execution of project $p \in PA$ starts at time period $t \in T$ ($y_t^p = 1$), or not ($y_t^p = 0$).

Also, auxiliary constants b_t^a which values are equal to quotients $(|T| - t) / L^a$ are introduced.

Based on so defined variables and the previous notation, mathematical model can be defined as follows [1]:

$$\min \sum_{t \in T} pc_t m_t + \sum_{a \in RA} \sum_{t \in T} mc_a x_t^a + \sum_{a \in PA} \sum_{t \in T} mc_a b_t^a z_t^a$$

such that:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{L^a - G^a} x_t^a &\geq 1, & \forall a \in RA \\ \sum_{s=0}^{L^a - 1} x_{t+s}^a &\geq 1, & \forall a \in RA, 1 \leq t \leq |T| - L^a + 1 \\ \sum_{t \in LC^a} z_t^a &\geq 1, & \forall a \in RA \\ z_t^a &\leq x_t^a, & \forall a \in RA \\ x_t^m + x_t^n &\leq 1, & \forall t \in T, (m, n) \in A^2 \setminus C \\ x_s^p &\geq y_t^p, & \forall p \in PA, t \in T_p, s = t, \dots, t + D_p - 1 \\ m_t &\geq x_t^a, & \forall a \in A. \end{aligned}$$

Budai et al. [1] proposed three constructive heuristics for solving the described problem. The rest of paper is organized as follows. In Section 3, a General Variable Neighborhood Search for Preventive Railway Scheduling Problem is described. In Section 4, computational results are presented.

3. GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

3.1 Solution space and solution representation

Each solution can be represented by matrix $xrun$ with $|PA| + |RA|$ rows and $|T|$ columns. By first $|PA|$ rows of the matrix, we presented scheduling for projects. So

$$xrun[kp][kt] = \begin{cases} 1, & \text{if project } kp \text{ performed at } kt \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Similarly, the next $|RA|$ rows represent scheduling for routines (in similar way).

Together with so represented scheduling of activities we calculate (update) vector noa with $|T|$ elements such that $noa[kt]$ is the total number of maintenance activities assigned to time period kt .

Note that we consider all possible scheduling of activities, i.e. we also consider scheduling of activities which are not feasible (due to scheduling incompatible activities to same time period). Because of that, objective function is modified (in order to model infeasibility). So objective function is the sum of possession costs, maintenance costs, and penalty (big positive number) for each incompatible pair of activity scheduled to same time interval.

3.2 Initial solution

The initial solution is generated randomly. This means that we for each routine ra , we determine a sequence of time periods assigned to this routine in the following way:

- first time period is determined as a random integer belonging to interval $[1, L^{ra} - G^{ra}]$. Note that routine ra must be performed at least once in time period $[1, L^{ra} - G^{ra}]$, and because of that we choose one number from this interval and assign the routine to this time period.
- every next time period is determined as the random integer number belonging to interval $[\min(pt + L^{ra} - 2, |T|), \min(pt + L^{ra}, |T|)]$. Intuitively we schedule routine ra at time periods such that distance between successive performing of routine ra is near to maximal allowed distance (L^{ra}) and in this way, the number of performing this activity will be near the minimal possible number.

Regarding projects, for each project p we choose a random integer number belonging \bar{T}_p (set of possible start time periods) and set it as the starting period for project p .

3.3 Local search

Local search is organized as Variable neighborhood descent (VND) by combining a set of possible moves.

Moving only single execution of one routine. In this case, we try to move one concrete execution of routine ra from the current time period, so decreasing the total cost. Suppose that ktc , ktp and ktn are time periods of the currently analysed execution, the time period of previous execution, and the time period of the next execution of routine ra . Then, time period of the currently analysed execution can be moved from time period ktc at any time period from time interval $[\max\{ktp+1, ktn-L^{ra}\}, \min\{ktn-1, ktp+L^{ra}\}]$. For each time period kt from this interval, we can in $O(1)$ time calculate the change of total cost in case that currently execution of routine ra is moved from period ktc to kt . If there is time period kt for which the change in total cost is negative, we set that current execution of routine ra is at time period kt (instead of ktc) and continue with the described procedure.

Moving all activity from fixed time period kt ($1 \leq kt \leq |T|$). In this case, we try to free time period kt currently occupied by some activities, this way decreasing total cost by decreasing part with possession costs. So we analyze all activities currently performed at time period kt and try to make another schedule, but only for part of the time horizon starting from time period kt (so schedule for part of time horizon between beginning and time period kt stay unchanged).

For computing the new schedule for routine ra we use the following greedy algorithm. Suppose that the last execution of routine ra is performed at time period mt . The next execution can be made at time period from set $\{mt+1, mt+2, \dots, mt+L^{ra}\}$. It is obviously better to choose time period which is the farthest from mt (nearest to $mt+L^{ra}$). So we choose two time periods farthest from mt :

- time period $kt1$ currently not occupied by activities
- time period $kt2$ currently occupied by activities, but only by activities compatible with routine ra (so routine ra can also be performed at period $kt2$).

In case that $kt1 < kt2$, we choose $kt2$ for the next execution of routine ra .

In case that $kt2 < kt1$, it may be reasonable to select time period $kt1$ for the next execution, but in this case, we must pay possession cost for period $kt1$. So if the possession cost is less than the maintenance cost of routine ra , proportional to the distance between time periods $kt2$ and $kt1$, i.e.

$$pc_{kt1} < \frac{kt1 - kt2}{L^{ra}} mc_{ra}$$

we assign routine ra to time period $kt1$ and continue with the scheduling.

In order to reduce complexity, we perform the described local search only for time periods occupied by at most 3 activities.

Moving all activities from fixed time period kt ($1 \leq kt \leq |T|$). In this case we try to free time period kt currently occupied by some activities, this way decreasing total cost by decreasing part with possession costs.

So we analyze all activities currently performed at time period kt and try to make another *complete schedule* (not only from time period kt , as in the previous type of move). In this case we use dynamic programming in order to compute the best schedule for routine ra with respect to the schedule for already scheduled routines.

For each time period jt , we can calculate $fb[jt]$ as the minimal cost for scheduling routine ra in part of the time horizon from beginning of the time horizon to time period jt such that the last execution of ra is at time period jt . Vector (array) fb can be calculated in the following way:

for $jt \in [1, L^{ra} - G^{ra}]$, it is enough to schedule routine ra in this time period and because of that, the total cost is

$$fb[jt] = \begin{cases} mc_{ra}, & \text{period } jt \text{ already occupied} \\ mc_{ra} + pc_{jt}, & \text{period } jt \text{ is not occupied} \end{cases}$$

if $jt > L^{ra} - G^{ra}$, then there is at most one execution of routine ra before time period jt . The last execution before jt must be from interval $[\max(1, jt - L^{ra}), jt - 1]$, and we choose the best of them (with minimal total cost). Denote with $minfb$ corresponding minimal value:

$$minfb = \min \{ fb[it] \mid \max(1, jt - L^{ra}) \leq it \leq jt - 1 \}$$

Then $fb[jt]$ can be computed as follows:

$$fb[jt] = \begin{cases} minfb, & \text{period } jt \text{ already occupied} \\ minfb + pc_{jt}, & \text{period } jt \text{ is not occupied} \end{cases}$$

After computing complete vector fb , we choose the best variant for the last execution (which must be at time period from interval $[|T| - L^{ra} + 1, |T|]$, so it is necessary to compute

$$mt = \operatorname{argmin}_{jt \in [|T| - L^{ra} + 1, |T|]} fb[jt]$$

and for such chosen mt reconstruct the complete schedule for routine ra (mt is the time period of last execution).

Simultaneous scheduling of two compatible routines. During experimentation we conclude that in many cases it is not possible to make improvement by changing schedule for only one routine. So we decided to try with simultaneous schedule for more than one routine. Simultaneous scheduling means that we try to schedule these routines in the same time periods. Given that we try to make the same schedule for these two routines, it imposes that maximal allowed distances between successive performings of these routines must be similar. So we order routines according to maximal allowed distance (i.e. L^m) and try to combine only the successive routines in the obtained order. Computing common schedule for the two considered routine can be made by using dynamic programming.

Simultaneous scheduling of three compatible routines. This is the same as the simultaneous scheduling of two compatible routines. We try to make a common schedule for three compatible routines, but we consider only the groups of three routines with similar maximal allowed time between the successive executions. The best common schedule with respect to the current schedule of other routines can be made by using dynamic programming.

3.4. Shaking

Shaking into neighborhood N_k can be made by removing current schedule for k , randomly selected

routines, and after that, creating a new schedule similarly as to generating schedule in the initial solution.

4. COMPUTATIONAL RESULTS

First set of test instances is generated by Budai et al. [1]. These test instances are with 15 and with 25 routines, the number of projects is between 0 and 2, while time horizon contains 104 time periods (104 weeks). All other input values are randomly generated. So maximal allowed time between two consecutive executions for all routines are a random integer between 4 and 52. Similarly, duration of projects are random integers between 1 and 6. Maintenance costs of all activities are random numbers between 1 and 100. In [1], two series of experimentation on the same instances are made by varying the possession costs: in the first scenario, possession costs for all time period were set to 25, in the second scenario, all possession costs were set to 75. Unfortunately, these instances are not available, and because of that, we generated new instances using same parameters. Also, we generated instances with 50 routines ($|T|=104$) and with 100 routines ($|T|=208$).

We decided to compare the results obtained by VNS, the three heuristics proposed by Budai et al. [1], and the results obtained by CPLEX (with mathematical model presented in section 2). Maximal execution time for CPLEX was 1800 seconds.

Table 1. Comparison on instances with 25 routines (possession cost is 25)

Inst.	CPLEX		VNS		MFWF		MCWF		OBH	
	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time
1	10317.66	1800.03	10313.69	0.05	10897.66	0.01	12783.51	0.04	10615.92	0.01
2	10509.60	1800.04	10460.88	9.30	11062.10	0.01	12489.96	0.09	11024.60	0.01
3	11599.85	1800.03	11562.20	0.38	12114.48	0.01	14045.89	0.10	12112.46	0.01
4	8708.70	1800.03	8636.74	0.03	9123.78	0.01	10358.66	0.03	9218.21	0.01
5	10920.32	1800.02	10916.77	12.44	11295.42	0.01	13320.21	0.08	11452.90	0.01
6	12195.70	1800.01	12210.64	4.30	12786.52	0.01	14863.96	0.05	12481.88	0.01
7	9585.94	173.68	9590.34	0.25	9818.39	0.01	11559.19	0.11	9965.38	0.01
8	8481.58	1800.02	8444.33	2.25	8938.19	0.01	10242.25	0.12	8852.04	0.01
9	11116.05	1800.02	11069.21	17.58	11543.83	0.01	13421.82	0.04	11173.06	0.01
10	7150.01	1800.02	7135.16	11.43	7461.64	0.01	5179.26	0.02	7156.88	0.01
Avg.	10058.54	1637.39	10034.00	5.80	10504.20	0.01	11826.47	0.07	10405.33	0.01

Table 2. Comparison on instances with 25 routines (possession cost is 75)

Inst.	CPLEX		VNS		MFWF		MCWF		OBH	
	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time
1	11824.50	1800.03	11852.71	1.26	14047.66	0.01	15033.51	0.03	11965.92	0.01
2	12127.18	1800.05	12115.13	0.32	14562.10	0.01	14089.96	0.09	12220.99	0.01
3	13146.01	1800.02	13123.5	1.42	15414.48	0.01	16095.89	0.09	13861.22	0.01
4	9915.12	1800.02	9836.60	3.06	11823.78	0.01	11758.66	0.03	10344.37	0.01
5	12791.92	1800.02	12793.23	3.06	14545.42	0.01	15970.21	0.08	13462.61	0.01
6	13747.03	1800.01	13764.43	0.26	16086.52	0.01	16913.96	0.05	14653.83	0.01
7	11536.98	1800.02	11594.71	1.02	12368.39	0.01	14259.19	0.13	11371.16	0.01
8	9726.91	1800.02	9671.13	0.83	11615.12	0.01	11564.50	0.08	10272.77	0.01
9	12944.45	1800.02	12916.55	1.74	15043.83	0.01	15971.82	0.08	13496.41	0.01
10	8621.84	98.69	8630.47	6.03	9711.64	0.01	5179.26	0.02	8606.88	0.01
Avg.	11638.19	1629.89	11629.84	1.90	13521.89	0.01	13683.69	0.07	12025.62	0.01

Table 3. Average results on instances with 50 and 100 routines

	CPLEX		VNS		MFWF		MCWF		OBH	
$ RA /pc$	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time	Obj	Time
50/25	17564.84	1800.03	17512.72	5.38	18282.03	0.01	19715.83	0.11	18195.57	0.01
50/75	19476.64	1800.03	19494.36	1.03	21493.14	0.01	21581.35	0.12	20184.77	0.01
100/25	67233.74	1800.12	65821.23	11.51	67446.91	0.01	72624.02	0.43	69004.02	0.01
100/75	72551.48	1800.14	70750.87	14.08	75087.02	0.01	77055.43	0.46	74362.94	0.01

In Tables 1 and 2, the results for instances with 25 routines, and the possession costs 25, and 75, respectively, are presented.

From these tables we can conclude that the average results obtained by the VNS are better than the results obtained by exact solver. On the other hand, the results obtained by constructive heuristics are worse.

In Table 3 only average results on the large instances (there are 10 instances for each combination number of routines / possession costs) are given.

5. CONCLUSION

The goal of maintenance planning and scheduling is to perform all maintenance activities in such a way that cost, generalized cost, is minimized. Planning involves ordering of tasks and resources; scheduling takes care of sequencing the tasks regarding time.

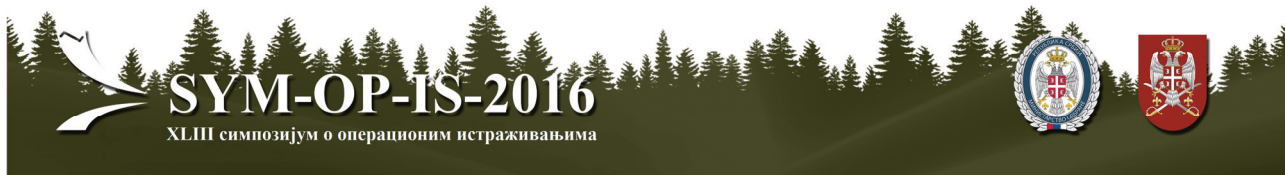
In this paper we presented variable neighbourhood search for the preventive maintenance scheduling problem as a

new heuristic for this problem, and we compared it with the already presented heuristics in Budai et al. [1]. Therefore, VNS achieved better results than the proposed heuristics for 3,5%.

The efficiency and effectiveness of our implementation relies on the larger number of neighbourhood structures examined, the new updating formula and the new efficient feasibility checking procedure. In some future work, this approach can be extended to similar maintenance scheduling problems.

REFERENCES

- [1] **G Budai, D Huisman and R Dekker** Scheduling preventive railway maintenance activities. Journal of the Operational Research Society 57, 1035–1044, 2006.
- [2] **N. Mladenović, P. Hansen**, (1997). Variable neighborhood search. Computers and Operations Research (24):1097–1100.



A NEW FORMULATION FOR MINIMUM COST HYBRID BERTH ALOCATION PROBLEM

JELENA JOVANOVIĆ

Faculty of Computer Science, John Naisbitt University, Beograd, jelena.jovanovic55@gmail.com

TATJANA DAVIDOVIĆ

Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Beograd, tanjad@mi.sanu.ac.rs

Abstract: *The static minimum cost berth allocation problem (MCHBAP) is considered with an aim to minimize the total costs consisting of costs of positioning, speeding up or waiting, and tardiness of completion for all vessels. In addition, it is assumed that each berth is equipped with a crane, and therefore, the crane scheduling problem can be avoided. MCHBAP can be presented as the Mixed Integer Linear Program (MILP), and here we compare computational results obtained by CPLEX commercial solver for two different problem formulations, i.e., two different models. The first model already exists in the literature; it has a large number of 0-1 variables and a large number of constraints. The second model, proposed here, is much simpler since it offers a different approach: under the assumption that each berth is equipped with a crane, we can formulate this problem as two-dimensional bin-packing problem. It appears that the second model outperforms the first one by far: when using the second model CPLEX is able to find optimal solutions for all test instances very quickly, while with the first model given time limits are exceeded for medium size instances and the obtained solutions are far from the optimal ones.*

Keywords: *Container Vessel, Berthing, Mixed Integer Formulation, Two-Dimensional Bin-Packing.*

1. INTRODUCTION

A container terminal (CT) in a sea port can be described as open system of container flow with sea-side interface. This interface is quayside with loading and unloading of vessels. After arrival at the port, a container vessel is assigned to a berth equipped with quay cranes to load and unload containers. Various types of container vessels have to be served at the quayside. In order to compete in this environment, a CT should be organized efficiently. One issue of seaside operations planning is the assignment of quay space and service time to vessels that have to be unloaded and loaded at a CT [1], [9]. This problem is commonly referred to as the berth allocation problem (BAP).

BAPs can be classified as discrete or continuous, as well as static or dynamic [1]. In the discrete case, the quay is partitioned into a number of sections, called berths, and each berth can serve one vessel at a time. Moreover, time could also be partitioned into discrete units allowing using integer arithmetic for calculation of the objective function value. In the continuous case a calling vessel can be placed at any position, with the restriction to avoid overlapping with other vessels and time is also considered continuous. In a static BAP it is assumed that all vessels arrive to the container terminal in advance, namely before any berth becomes available. If the vessels can arrive at any time during the planning horizon (although we still have *a priori* knowledge of their arrivals), then we deal with dynamic BAP.

In recent years, an ever increasing number of papers on CTs considering BAP have appeared. In most of them crane resources were either ignored (assuming that each berth is equipped by a crane) [5], [9], [12], [15] or treated separately within the second stage of problem solving [11]. Moreover, different authors considered different objectives to be minimized within the solution of BAP. In some of the papers the total of waiting and handling times were minimized [1], [9], while in the others the minimization of total costs for waiting and handling as well as earliness or tardiness of completion was considered as the objective [6].

We consider the static minimum cost BAP (MCHBAP) in the case when crane resources are ignored (as said in the abstract, we assume that each berth is equipped with a crane). The first Mixed Integer Programming (MIP) formulation of this problem can be found in [3]. The new model (proposed here), which proved to be way more suitable, offers an alternative approach. Namely, we can consider this problem a special case of two-dimensional bin-packing problem [13], [14] (that is, we are given a single bin). This way the formulation of the problem becomes much simpler – it has less variables and less constraints (the objective function stays the same). We compared these two models using CPLEX commercial solver [7], [8].

The rest of this paper is organized as follows. MCHBAP is described and formulated as integer linear program (using our new model) in section 2. Section 3 contains

experimental evaluation using CPLEX 11.2 optimization software [7], [8]. In this section we present evaluation results for both models on two sets of test examples. Section 4 concludes the paper.

2. MINIMUM COST HYBRID BERTH ALLOCATION PROBLEM

MCHBAP represents one of the major CT operations planning problem [1], [9]. It consists of assigning a berthing position and a berthing time to every vessel incoming to be served within a given planning horizon with an aim to minimize some objective. In this paper the minimization of berthing cost as well as the costs of positioning, speeding up or waiting, and tardiness of completion for all vessels is considered. The main assumption is that the number of cranes is equal to the number of berths and, therefore, crane scheduling problem can be avoided.

Typically, the decisions are made with respect to the different arrival times, lengths, and handling times of vessels. The handling (operation) times are usually assumed to be fixed and known in advance. As shown in Fig. 1, a solution to BAP can be depicted in a space-time diagram. Both coordinates are assumed to be discrete (space is modeled by the berth indices while the time horizon is partitioned into segments in such a way that berthing time of each vessel is represented by an integer). The height of each of the rectangles corresponds to the length of a vessel (expressed by the number of berths) and the width corresponds to the needed handling time. The lower-left vertex of a rectangle gives the berthing position and berthing time of a vessel and it is referred to as *the reference point* of a vessel (marked by the index of vessel in Fig. 1). A berth plan is *feasible* if the rectangles do not overlap and all the vessels fit into the given space-time frame (see Fig. 1).

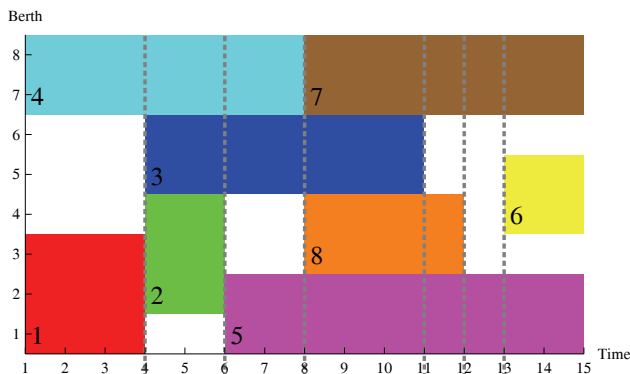


Fig. 1: An example of BAP solution Source: Kordić, S., PhD Thesis, 2016.

The input parameters of MCHBAP are: The total number of vessels (I); The total number of different berthing positions (m); The total number of time segments (T); The expected time of arrival (ETA_k) of vessel k . ETA is a kind of agreement between carriers and the terminal operator regarding the arrival time of vessels. Berthing earlier than the promised berthing time causes the corresponding vessel to speed up, which in turn causes the extra

consumption of fuel, while berthing later than the promised berthing time may incur complaints from carriers; The total operation time (a_k) of vessel k if only one crane operates on it during the berthing; The length (b_k) of vessel k expressed as the number of berths. Assuming that each berth is equipped with a crane, the time required to unload and load all the cargo for vessel k , denoted by H_k , equals $\lceil a_k / b_k \rceil$; The due time for the departure (d_k) of vessel k ; The least-cost berthing location of the reference point (s_k) of vessel k ; The container handling cost (c_{1k}) per unit distance of vessel k from the least-cost berthing location; The penalty cost (c_{2k}) of vessel k per unit time of arrival before ETA_k ; The penalty cost (c_{3k}) of vessel k per unit time of arrival after ETA_k ; The penalty cost (c_{4k}) of vessel k per unit time of delay beyond the due time d_k .

The goal is to minimize the total penalty cost which includes: the penalty induced by missing the least-cost (preferred) berthing location of the reference point; the penalties induced by the actual berthing earlier or later than the expected time of arrival and the penalty cost by the delay of the departure after the promised due time. The last three terms have impacts on the objective function provided that they are positive. More precisely, the objective function can be expressed in the following form:

$$\sum_{k=1}^I \{C_{1k}\sigma_k + C_{2k}(ETA_k - At_k)^+ + C_{3k}(At_k - ETA_k)^+ + C_{4k}(Dt_k - d_k)^+\}$$

where

$$\sigma_k = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \{i - s_k \mid \text{vessel } k \text{ occupies position } (j, i)\}$$

and

$$(a - b)^+ = \begin{cases} a - b, & \text{if } a > b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Although containing some non-linearities (expressed by absolute values, positive components, conditional expressions), MCHBAP can be formulated as Mixed Integer Linear Program (MILP). Therefore, it is possible to apply optimization software (in our case, CPLEX 11.2, [7], [8]).

In order to develop MILP for this problem, let us introduce the following decision variables:

- integer variables:
 - At_k , the Berthing position of vessel k on time axis (taking values $1, 2, \dots, T$).
 - Dt_k , The completion (departure) time of vessel k (taking values $1, 2, \dots, T$).
 - P_k , the Berthing position of vessel k on berth axis (taking values $1, 2, \dots, m$).

- binary variables:

$$z_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{if the reference point of vessel } k \text{ is } (j, i), \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$l_{k_1k_2} = \begin{cases} 1, & \text{if vessel } k_1 \text{ is left to the vessel } k_2 \text{ on time axis,} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$u_{k1k2} = \begin{cases} 1, & \text{if vessel } k1 \text{ is under the vessel } k2 \text{ on berth axis,} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Moreover, let us perform some preprocessing. First, it is obvious that we can calculate array $H_k = \lceil a_k / b_k \rceil$ in advance. In addition, we can introduce matrices $E1_{kj}$, $E2_{kj}$, $D1_{kj}$, Zb_{ki} , and F_{ijk} defined as follows:

$$E1_{kj} = \begin{cases} c_{2k}(ETA_k - j), & \text{if } ETA_k > j, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$E2_{kj} = \begin{cases} c_3(j - ETA_k), & \text{if } j > ETA_k, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D1_{kj} = \begin{cases} c_{4k}(j + H_k - d_k), & \text{if } j + H_k > d_k, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Zb_{ki} = \sum_{r=i}^{i+b_k-1} B_{kr}$$

where

$$B_{kr} = \begin{cases} H_k * c_{1k}(r - s_k) & \text{if } r > s_k, \\ H_k * c_{1k}(s_k - r) & \text{otherwise} \end{cases}$$

and

$$F_{ijk} = Zb_{ki} + E1_{kj} + E2_{kj} + D1_{kj}.$$

In this way we extracted most of the problem nonlinearities into preprocessing phase.

Based on the formulation of the Two-Dimensional Bin-Packing Problem given by Pisinger and Sigurd in [13], [14] and our preprocessing scheme, MCHBAP can be formulated as follows:

$$\min \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^T z_{ijk} F_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^T z_{ijk} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^m j * z_{ijk} = At_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (3)$$

$$At_k + H_k = Dt_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^m i * z_{ijk} = P_k, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (5)$$

$$l_{k1k2} + l_{k2k1} + u_{k1k2} + u_{k2k1} \geq 1, \quad (6)$$

$$k_1 = 1, 2, \dots, l; \quad k_2 = 1, 2, \dots, l \quad (k_1 < k_2);$$

$$At_{k1} - At_{k2} + T * l_{k1k2} \leq T - H_{k1}, \quad (7)$$

$$k_1 = 1, 2, \dots, l; \quad k_2 = 1, 2, \dots, l;$$

$$P_{k1} - P_{k2} + m * u_{k1k2} \leq m - b_{k1}, \quad (8)$$

$$k_1 = 1, 2, \dots, l; \quad k_2 = 1, 2, \dots, l;$$

$$At_k \leq T - H_k + 1, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (9)$$

$$P_k \leq m - b_k + 1, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (10)$$

The objective function, given by equation (1), aims to minimize the weighted sum of the berthing cost components (the cost depending on the distance from the berthing location of a vessel to the preferred location, the penalty cost incurred by berthing earlier or later than the expected time of arrival (ETA), and the penalty cost incurred by the delay of the departure beyond the desired due time). Constraints (2) ensure that each vessel has exactly one reference point. Constraints (3), (4) and (5) define, respectively, the values of variables determining berthing time, total operation time and berthing position of each vessel. Constraints (6), (7) and (8) prevent overlapping of vessels. Constraints (9) and (10) ensure that all vessels fit in the given time-space frame.

3. EXPERIMENTAL EVALUATION

In this section we present computational results for both the old model as given in [3] and the new one as presented in the previous section. Results are obtained by CPLEX 11.2 optimization software [7], [8] on two sets of test instances: the first set contains small size artificially generated problems, while the second set is the set of real life instances as proposed in [2].

CPLEX is executed on Intel Core 2 Duo CPU E6750 on 2.66GHz with RAM=8Gb under Linux Slackware 12, Kernel: 2.6.21.5.

The Table 1 contains results for the examples from the first set. CPLEX solved these instances to optimality for both old and new model, but the new model required much less CPU time.

Table 1 Computational results - artificial test problems: $m=8, T=15$

l	OPT. COST	CPU Time	
		OLD MODEL	NEW MODEL
6	380	0.06	0.01
7	665	20.53	0.05
8	745	18.91	0.09
9	780	20.88	0.10
10	1070	35.19	1.56
11	1325	644.98	10.51
12	1375	129.76	39.93
13	1415	379.64	82.24
14	1485	635.40	123.87
15	1570	1788.80	392.62

Table 2 contains results for the examples from the second set. When using the old model, CPLEX CPU time required to solve these instances to optimality was too long, and therefore time limits were imposed in [3] as it is indicated in the fourth column of Table 2. In the first column of Table 2, the number of vessels is presented. The next two columns contain the solutions obtained by the old model within a given time limit. In the second column total cost is presented, while the third column

contains the CPU time required to obtain that cost value. When using the new model, however, we obtained optimal solutions for all instances, execution times stayed very small.

Table 2 Computational results – real life test problems: $m=12, T=54$

I	OLD MODEL			NEW MODEL	
	COST	CPU Time	Time limit (sec.)	OPT. COST	CPU Time
21	24562	3698.41	3600	4779	1.31
22	16334	7434.44	7200	4983	2.02
23	96549	7404.73	7200	5193	3.59
24	6594	7429.48	7200	5643	3.14
25	13262	18709.60	18500	5953	5.47
26	26614	18716.10	18500	6298	12.97
27	26679	18638.50	21600	6478	15.22
28	8418	44530.70	43200	6980	91.21

It is obvious from the presented tables that the new model outperformed by far the old one, and therefore, it makes it possible to solve to the optimality much larger examples of MCHBAP. The MCHBAP can also be considered as the cutting problem, however, the guillotine cuts [4] cannot be applied. This may be the subject of further research on modelling MCHBAP.

5. CONCLUSION

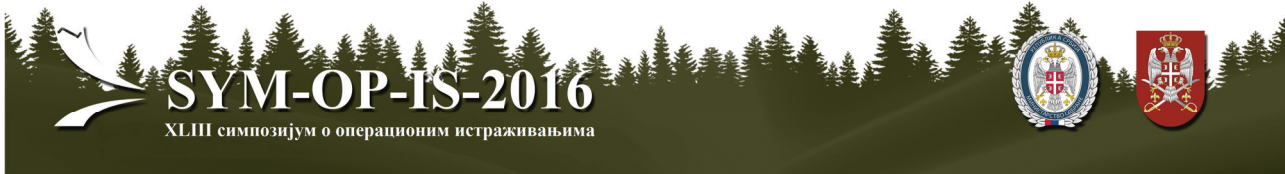
We considered The Minimum Cost Hybrid Berth Allocation Problem (MCHBAP) with an aim to minimize the total costs for waiting and handling as well as speeding up or tardiness of completion for all vessels. The problem is formulated as a mix-integer linear program based on two models: the model given in [3] and the model presented in this paper, in which we consider this problem as a special case of two-dimensional bin-packing problem. For both models we performed experimental evaluation using CPLEX 11.2 commercial software, and the results suggest that our variation of the two-dimensional bin-packing problem is more suitable for solving MCHBAP. As the future work, we plan to examine the limits of the new model and to develop hybrid methods based on this model and (meta)heuristics that would be able to address large size real life problem instances.

Acknowledgment

This work has been partially supported by Serbian Ministry of Education, Science, and Technological Development, grant Nos. ON174010, ON174033 and a bilateral project from the Pavle Savić programme for year 2016/17 no. 451-03-39/2016/09/09.

REFERENCES

- [1] Bierwirth, C., Meisel, F., A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals, *European Journal of Operational Research*, 202:615-627, 2010.
- [2] Chang, D., Jiang, Z., Yan, W., He, J., Integrating berth allocation and quay crane assignments, *Transportation Research Part E*, 46(6):975-990, 2010.
- [3] Davidovic, T., Lazic, J., Mladenovic, N., Kordic, S., Kovac, N., Dragovic, B., MIP-Heuristics for Minimum Cost Berth Allocation Problem, in *Proc. International Conference on Traffic and Transport Engineering, ICTTE 2012 Belgrade*, 21-28, 2012.
- [4] Furini, F., Malaguti, E., Thomopoulos, D., Modeling Two-Dimensional Guillotine Cutting Problems, *Informatics Journal Of Computing, Informatics*, (to appear).
- [5] Guan, Y., Cheung, R. K., The berth allocation problem: models and solution methods, *OR Spectrum*, 26(1):75-92, 2004.
- [6] Hansen, P., Oğuz, C., Mladenović, N., Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation, *European Journal of Operational Research*, 191(3):636-649, 2008.
- [7] ILOG Cplex 11.2 reference manual, 2008.
- [8] ILOG AMPL CPLEX System, Ver. 11.0, User's guide, 2008.
- [9] Imai, A.; Nishimura, E., Papadimitriou, S., Berth allocation with service priority, *Transportation Research Part B*, 37:437-457, 2003.
- [10] Kim, K. H., Moon, K. C., Berth scheduling by simulated annealing, *Transportation Research Part B*, 37(6):541-560, 2003.
- [11] Oğuz, C., Narin, Ö., Solving Berth Allocation Problem with Column Generation, In *Proceedings of the Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA 2009)*, pages 744-747, Dublin, Ireland.
- [12] Park, Y. M., Kim, K. H., A scheduling method for berth and quay cranes, *OR Spectrum*, 25(1):1-23, 2003.
- [13] Pisinger, D., Sigurd, M., Using decomposition techniques and constraint programming for solving the two-dimensional bin-packing problem, *INFORMS Journal on Computing*, 19(1):36-51, 2007.
- [14] Pisinger, D., Sigurd, M., The two-dimensional bin-packing problem with variable bin sizes and costs, *Discrete Optimization, Elsevier*, 2:154-167, 2005.
- [15] Wang, F., Lim, A., A stochastic beam search for the berth allocation problem, *Decision Support Systems*, 42:2186-2196, 2007.



A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE K-METRIC DIMENSION PROBLEM

MIRJANA ČANGALOVIĆ

University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, canga@fon.bg.ac.rs

JOZEF KRATICA

Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, jkratica@gmail.com

VERA KOVAČEVIĆ-VUJČIĆ

University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, verakov@fon.bg.ac.rs

Abstract: This paper considers a recently introduced NP-complete problem of determining the k -metric dimension of a graph. We propose a mathematical programming formulation of the problem which enables the use of exact solvers for small size instances. For large instances we design a variable neighborhood search (VNS) based heuristic. Computational experiments with crew scheduling and graph coloring instances from the ORLIB test set show the efficiency of the VNS approach.

Keywords: k -metric dimension, metric dimension, variable neighborhood search.

1. INTRODUCTION

The metric dimension problem (MDP) is introduced independently by Slater in 1975 [1] and Harary & Melter in 1976 [2]. Let $G=(V,E)$ be a simple connected undirected graph, where $V=\{1,\dots,n\}$, $|E|=m$ and let $d(u,v)$ denote the distance between vertices u and v , i.e. the length of a shortest $u-v$ path. A vertex x is said to *resolve* two vertices u and v if $d(x,u) \neq d(x,v)$. A vertex set $S = \{x_1, \dots, x_l\}$, $x_i \neq x_j$ is a *resolving set* of G if every two vertices $u, v \in V$ ($u \neq v$) are resolved by some element of S . Given a vertex x , the l -tuple $r(x,S)=(d(x,x_1), \dots, d(x,x_l))$ is called the *vector of metric coordinates* of x with respect to S . A *metric basis* of G is a resolving set of the minimal cardinality. The *metric dimension* of G , denoted by $\beta(G)$, is the cardinality of its metric basis and the *metric dimension problem* is finding the value of $\beta(G)$.

The concept of the metric dimension has applications in many diverse areas, including network discovery, geographic routing protocols, robot navigation and chemistry, which has motivated a wide research of the MDP. Since the complete survey of the results is out of the scope of this paper, we will mention here only some relevant results. There exist two different integer linear programming (ILP) formulations of the MDP [3,4]. It has been proved that the MDP is NP-hard in general case [5]. The MDP was tackled by the genetic algorithm [6] and by the variable neighborhood search [7].

In the last fifteen years several problems related to the MDP have been introduced. The *strong metric dimension problem* was introduced in 2004 by Sebo and Tanier [8]

and further investigated by Oellerman and Peters-Fransen [9]. Caceres et al. [10] have defined and investigated the *minimal doubly resolving set problem*. Metaheuristic approaches to these problems have been proposed in [11, 12]. The *k -metric dimension problem* is the most recent problem related to the MDP. It was introduced in 2013 by Estrada-Moreno, Rodriguez-Velazquez and Yero [13]. This paper proposes a mathematical programming formulation of the problem and a variable neighborhood search (VNS) based heuristic which can handle large instances. Computational experiments with crew scheduling and graph coloring instances from the ORLIB test set show the efficiency of the VNS approach.

2. THE K-METRIC DIMENSION PROBLEM

In [13,14] the following concepts have been introduced. A vertex set S of G is a *k -metric generator* (or a *k -resolving set*) of G if any pair of vertices of G is resolved by at least k vertices from S , i.e. for every $u, v \in V$ ($u \neq v$) there exist at least k vertices $t_1, t_2, \dots, t_k \in S$ such that $d(u, t_i) \neq d(v, t_i)$ for $i=1, 2, \dots, k$. It is clear that S is a k -resolving set if and only if every two vertices of G have vectors of metric coordinates with respect to S which differ in at least k coordinates. Now a *k -metric basis* of G is defined as a k -resolving set of G of the minimal cardinality. The *k -metric dimension* of G , denoted by $\dim_k(G)$, is the cardinality of the k -metric basis of G and the *k -metric dimension problem* consists of finding the value of $\dim_k(G)$.

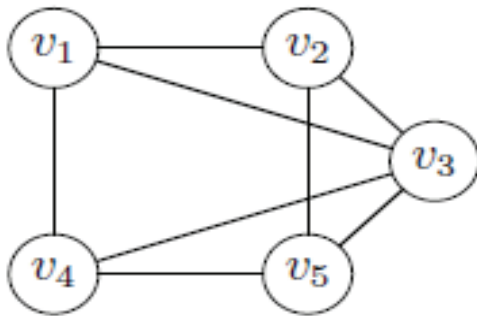
The following simple example taken from [13] illustrates the k -metric dimension problem and the related concepts.

Example 1. Consider graph G on Picture 1. Set $S=\{v_1, v_2, v_4, v_5\}$ is a 2-resolving set since the following holds:

- v_1 and v_3 are resolved by v_1 and v_5 ,
- v_2 and v_3 are resolved by v_2 and v_4 ,
- v_3 and v_4 are resolved by v_2 and v_4 ,
- v_3 and v_5 are resolved by v_1 and v_5 .

Vectors of metric coordinates with respect to S are: $r(v_1, S)=(0,1,1,2)$, $r(v_2, S)=(1,0,2,1)$, $r(v_3, S)=(1,1,1,1)$, $r(v_4, S)=(1,2,0,1)$, $r(v_5, S)=(2,1,1,0)$.

Set $T=\{v_1, v_2, v_5\}$ is not a 2-resolving set since v_2 and v_3 are resolved only by v_2 . Similarly, it can be seen that none of the subsets of three vertices forms a 2-resolving set. Thus, $dim2(G)=4$ with a 2-metric basis $\{v_1, v_2, v_4, v_5\}$.



Picture 1: A graph G with $dim2(G)=4$

In [13, 14] the authors prove several theoretical properties of the k -metric dimension problem. In order to analyse the existence of a k -metric basis for a given k they introduce the notion of k' -metric dimensional graphs. A connected graph G is said to be k' -metric dimensional if k' is the largest integer such that there exists a k' -metric basis. It has been proved in [14] that the problem of finding an integer k' such that G is k' -metric dimensional is solvable in polynomial time. On the other hand, in the same paper the authors prove that the k -metric dimension problem is NP-complete, where $1 \leq k \leq k'$ is a given integer. However, in the particular case of the k' -dimensional trees different from a path, the authors propose an algorithm which solves the k -metric dimension problem in linear time for any $1 \leq k \leq k'$.

It is clear that 1-metric dimension problem reduces to the standard metric dimension problem, for which there exist mathematical programming formulations [3,4]. We propose here the following mathematical programming formulation of the k -metric dimension problem:

$$\min \sum_{j=1}^n y_j$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n A_{uvj} y_j \geq k, \quad 1 \leq u < v \leq n, \quad (1)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad 1 \leq j \leq n. \quad (2)$$

$$\text{where } A_{uvj} = \begin{cases} 1, & d(u, j) \neq d(v, j) \\ 0, & d(u, j) = d(v, j) \end{cases}$$

Let $S = \{x_i \in V \mid y_i = 1\}$. The following proposition shows that each solution of (1)-(2) defines a k -resolving set of G , and vice versa.

Proposition 1. S is a k -resolving set of G if and only if constraints (1)-(2) are satisfied.

Proof: (\Rightarrow) Suppose that S is a k -resolving set. Then for each $u, v \in V$, $u \neq v$ there exist $t_1, t_2, \dots, t_k \in S$ such that $d(u, t_i) \neq d(v, t_i)$, i.e. $A_{uv t_i} = 1$ for $i=1, \dots, k$. Since t_1, \dots, t_k

$\in S$ it follows that $y_{t_1} = 1, \dots, y_{t_k} = 1$, which implies that conditions (1) are satisfied. Conditions (2) are satisfied by the definition of y_i .

(\Leftarrow) Suppose now that constraints (1) and (2) are satisfied. Since A_{uvj}, y_j are binary, then for each $u, v \in V$, $u \neq v$ there exist at least k indices such that $A_{uvj} y_j = 1$. Therefore, there exist at least k vertices in set S which resolve u and v , i.e. S is a k -resolving set. \square

3. THE VNS APPROACH

Variable neighborhood search (VNS) is an effective metaheuristic introduced by Mladenović and Hansen in 1997 [15]. The basic idea is to use more than one neighborhood structure and to proceed to a systematic change of them within a local search. The algorithm remains in the same solution until a better solution than the incumbent is found and then moves there. The main steps of the VNS can be outlined as follows. Let $N_t, t = t_{min}, \dots, t_{max}$ be a finite set of neighborhood structures which will be used in the VNS. Given an incumbent S and an integer $t \in \{t_{min}, \dots, t_{max}\}$ associated to a current neighborhood $N_t(S)$, the shaking procedure generates a feasible solution in $N_t(S)$. Then a local search is applied around the generated feasible solution in order to obtain a possibly better solution. If the local search gives a better solution then it becomes the new incumbent and the next search begins at the first neighborhood of the new incumbent. Otherwise, the next neighborhood in the sequence is considered in order to try to improve upon the current solution. Should the last neighborhood $N_{t_{max}}$ be reached without a better solution being found, the search begins again in the first neighborhood $N_{t_{min}}$ until a stopping condition, e.g. a maximum number of iterations $iter_{max}$ is met.

The VNS approach to the k -metric dimension problem presented in this paper is a modification of the VNS-based algorithm for the metric dimension problem proposed by Mladenović, Kratica, Kovačević-Vujčić and Čangalović in 2012 [7]. The algorithm is based on the decomposition of the problem into a sequence of sub-problems with relaxed k -resolving requirements and fixed cardinalities of feasible sets. Main features of the algorithm are the following.

Initial set S' . An iterative procedure starts from the empty set S and adds randomly chosen vertices from V until S becomes a k -resolving set. Then the last element of S is deleted to obtain set S' and the cardinality of currently considered set is equal to $|S|-1$. If $S=V$ and V is not a k -resolving set, then the problem does not have a feasible solution, i.e. G is not k -metric dimensional.

Neighborhoods. The t -th neighborhood $N_t(S')$, $t=1,2,\dots,t_{max}$ contains all sets obtained from S' by deleting t of its elements and replacing them by t vertices from $V \setminus S'$.

Objective function. Objective function value $ObjF(S')$ is equal to the sum of numbers of “lacking” vertices from S' for all pairs of nodes from V which are not resolved by at least k vertices from S' , i.e.

$$ObjF(S') = \sum_{u=1}^{n-1} \sum_{v=u+1}^n l(u,v), \quad l(u,v) = \begin{cases} 0, & r \geq k \\ k-r, & r < k \end{cases}$$

where $r \geq 0$ is the number of vertices from S' which resolve u and v . Note that for $k=1$ $ObjF(S')$ is the total number of pairs of vertices from V which are not resolved by vertices from S' . The computational complexity of computing the objective function value is $O(n^2)$, which considerably slows down the local search and a possible improvement in the future research should be directed towards time savings in the objective function evaluation.

Local search procedure. Local search procedure starts from set S'' which was randomly chosen from $N_1(S')$ in the shaking phase. At each iteration it tries to find a new set S'' in the neighborhood $N_1(S'')$ of the current S'' which gives the maximal decrease of the objective function (the best improvement strategy). The procedure stops when such a set can not be found. Whenever the procedure finds a set in $N_1(S'')$ which is a k -resolving set, the current feasible set S is updated, the new S' is obtained by deleting its last element and the procedure continues.

Neighborhood change. After the local search, the decision whether to move to S'' or stay in S' is made according to the following rules.

1. $|S''| < |S'|$ or ($|S''| = |S'|$ and $ObjF(S'') < ObjF(S')$) : $S' := S''$ and continue with the same neighborhood N_t .
2. $|S''| = |S'|$ and $ObjF(S'') > ObjF(S')$: repeat the search with the same S' and the next neighborhood N_{t+1} .
3. $|S''| = |S'|$ and $ObjF(S'') = ObjF(S')$: with probability p_{move} perform rule 1, i.e. with probability $1-p_{move}$ perform rule 2.

4. NUMERICAL EXPERIMENTS

This section presents computational results of the VNS approach to the k -metric dimension problem. The VNS is implemented in C programming language and tests are

performed on an Intel Quad 2.5 GHz computer with 1 GB memory under Windows XP operating system. We used the following test instances: 10 Crew scheduling instances (mcsp) from ORLIB (50-500 vertices) and 30 Graph coloring instances (mgcol) from ORLIB (100, 300 vertices). The VNS parameters were chosen as follows: $t_{min} = 2$, $t_{max}=20$, $p_{move}=0.2$, $iter_{max}=100$. We have performed 20 VNS runs for each instance and for each $k=2,3$. The results are summarized in Tables 1-2, which are organized as follows. The first column ‘inst’ contains instance name, column ‘sol’ contains the minimal value of $dimk(G)$ obtained in 20 runs, and the next five columns contain the average total running time (t_{tot}), the average running time used to reach the VNS solution for the first time (t), the average solution (aver), the percentage average gap from the best solution (agap) and the percentage standard deviation (σ), respectively.

Table 1: VNS results for $k=2$

inst	sol	t tot	t	aver	agap	σ
mcsp50	14	0.319	0.086	14.2	1.429	2.817
mcsp100	16	2.551	1.083	16.8	5.000	2.381
mcsp150	20	15.043	3.704	20.95	4.750	1.040
mcsp200	22	36.078	15.893	23.25	5.682	2.306
mcsp250	24	64.069	21.919	24.3	1.250	1.886
mcsp300	29	136.844	66.131	29.75	2.586	1.802
mcsp350	29	197.492	93.673	30.3	4.483	1.838
mcsp400	32	315.980	145.200	33.45	4.531	2.000
mcsp450	33	424.862	184.296	34.25	3.788	1.818
mcsp500	35	607.798	313.646	36.8	5.143	1.630
mgcol1	11	1.409	0.084	11.9	8.182	2.521
mgcol2	11	1.451	0.106	11.9	8.182	2.521
mgcol3	12	1.488	0.044	12	0.000	0.000
mgcol4	12	1.483	0.055	12	0.000	0.000
mgcol5	11	1.508	0.084	11.95	8.636	1.824
mgcol6	11	1.507	0.187	11.8	7.273	3.390
mgcol7	11	1.507	0.117	11.95	8.636	1.824
mgcol8	12	1.707	0.047	12	0.000	0.000
mgcol9	11	1.800	0.124	11.95	8.636	1.824
mgcol10	11	1.764	0.051	11.95	8.636	1.824
mgcol11	11	1.918	0.083	11.95	8.636	1.824
mgcol12	11	1.880	0.218	11.9	8.182	2.521
mgcol13	12	2.039	0.071	12	0.000	0.000
mgcol14	12	2.168	0.075	12	0.000	0.000
mgcol15	12	1.933	0.061	12	0.000	0.000
mgcol16	11	2.088	0.113	11.95	8.636	1.824
mgcol17	11	2.196	0.267	11.9	8.182	2.521
mgcol18	11	1.816	0.192	11.9	8.182	2.521
mgcol19	11	2.523	0.175	11.95	8.636	1.824
mgcol20	11	1.885	0.127	11.95	8.636	1.824
mgcol21	15	35.126	3.975	15	0.000	0.000
mgcol22	15	35.690	4.282	15	0.000	0.000
mgcol23	15	34.991	3.468	15	0.000	0.000
mgcol24	15	35.060	4.414	15	0.000	0.000
mgcol25	15	35.356	3.793	15	0.000	0.000
mgcol26	15	35.455	4.855	15	0.000	0.000
mgcol27	15	34.946	3.547	15	0.000	0.000
mgcol28	15	34.490	4.453	15	0.000	0.000
mgcol29	15	35.027	3.700	15	0.000	0.000
mgcol30	15	35.444	3.323	15	0.000	0.000

Table 2: VNS results for $k=3$

inst	sol	t tot	t	aver	agap	σ
mcspl50	infeasible					
mcspl100	23	8.063	2.213	23.95	4.13	0.910
mcspl150	28	28.639	11.746	28.6	2.143	2.039
mcspl200	31	64.104	28.084	31.4	1.29	1.560
mcspl250	32	110.496	53.033	32.5	1.563	1.538
mcspl300	39	236.946	125.582	39.55	1.41	1.490
mcspl350	40	340.629	149.114	40.3	0.75	1.137
mcspl400	42	539.210	333.500	43.75	4.167	1.752
mcspl450	44	725.425	359.893	44.8	1.818	1.138
mcspl500	47	1046.486	579.126	47.9	1.915	1.304
mgcol1	14	3.655	0.332	14.9	6.429	2.013
mgcol2	14	3.650	0.241	14.9	6.429	2.013
mgcol3	14	3.351	0.560	14.8	5.714	2.703
mgcol4	14	3.821	0.185	14.9	6.429	2.013
mgcol5	14	3.554	0.188	14.95	6.786	1.458
mgcol6	14	3.478	0.195	14.95	6.786	1.458
mgcol7	14	3.653	0.420	14.9	6.429	2.013
mgcol8	14	3.744	0.137	14.95	6.786	1.458
mgcol9	14	3.293	0.169	14.9	6.429	2.013
mgcol10	14	3.743	0.362	14.9	6.429	2.013
mgcol11	14	3.525	0.198	14.95	6.786	1.458
mgcol12	14	3.583	0.239	14.9	6.429	2.013
mgcol13	14	3.420	0.532	14.75	5.357	2.936
mgcol14	14	3.768	0.184	14.95	6.786	1.458
mgcol15	14	3.572	0.311	14.85	6.071	2.405
mgcol16	14	3.340	0.456	14.75	5.357	2.936
mgcol17	14	3.751	0.233	14.9	6.429	2.013
mgcol18	14	3.551	0.185	14.9	6.429	2.013
mgcol19	14	3.450	0.304	14.9	6.429	2.013
mgcol20	14	3.687	0.396	14.8	5.714	2.703
mgcol21	18	53.302	17.280	18.4	2.222	2.662
mgcol22	18	53.114	16.046	18.3	1.667	2.504
mgcol23	18	53.042	12.636	18.5	2.778	2.703
mgcol24	18	52.800	15.386	18.35	1.944	2.599
mgcol25	18	52.742	18.975	18.25	1.389	2.373
mgcol26	18	53.286	15.942	18.3	1.667	2.504
mgcol27	18	52.993	14.959	18.35	1.944	2.599
mgcol28	18	52.911	20.759	18.35	1.944	2.599
mgcol29	18	52.791	21.080	18.15	0.833	1.967
mgcol30	18	53.782	16.903	18.25	1.389	2.373

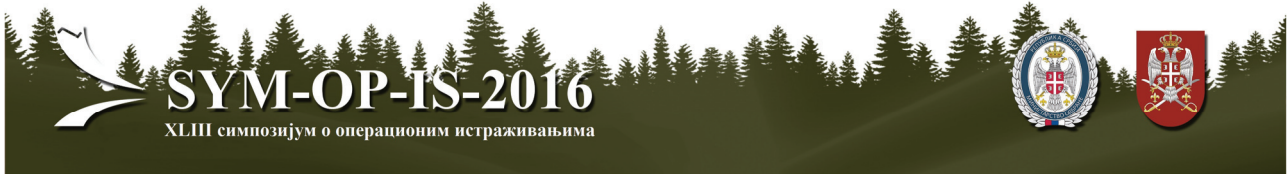
5. CONCLUSIONS

In this paper a VNS approach to the recently introduced k -metric dimension problem is presented. The objective function for the k -metric dimension problem is a generalization of the objective function for the metric dimension problem. Computational experiments with crew scheduling and graph coloring instances from the ORLIB test set show the efficiency of the VNS approach. A new integer linear programming formulation is also proposed.

Future research should include tests on some other ORLIB instances using more powerful and/or parallel computers. Possible research direction could use the computational results in order to generate theoretical hypotheses about the k -metric dimension on some special classes of graphs (General Petersen graphs, Hamming graphs, hypercubes, etc).

REFERENCES

- [1] Slater, P.J., Leaves of trees, *Congr. Numerantium*, 14 (1975) 549-559.
- [2] Harary, F., Melter, R.A., On the metric dimension of a graph, *Ars Combinatoria*, 2(1976) 191-195.
- [3] Chartrand, G., Eroha, L., Johnson, M.A., Oellermann, O.R., Resolvability in graphs and the metric dimension of a graph, *Discrete Applied Mathematics*, 105 (2000) 99-113.
- [4] Currie, J.D., Oellermann, O.R., The metric dimension and metric independence of a graph, *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, 39 (2001) 157-167.
- [5] Khuller, S., Raghavachari, B., Rosenfeld, A., Landmarks in graphs, *Discrete Applied Mathematics*, 70 (1996) 217-229.
- [6] Kratica, J., Kovačević-Vujčić, V., Čangalović, M., Computing the metric dimension of graphs by genetic algorithms, *Computational Optimization and Applications*, 44 (2009) 343-361.
- [7] Mladenović, N., Kratica, J., Kovačević-Vujčić, V., Čangalović, M., Variable neighborhood search for metric dimension and minimal doubly resolving set problems, *European Journal of Operational Research*, 220(2) (2012) 328-337.
- [8] Sebo, A., Tannier, E., On metric generators of graphs, *Mathematics & Operations Research*, 29(2) (2004) 383-393.
- [9] Oellermann, O. R., Peters-Fransen, J., The strong metric dimension of graphs and digraphs, *Discrete Applied Mathematics*, 155(3) (2007) 356-364.
- [10] Caceres, J., Hernando, C. Mora, M., Pelayo, I.M., Puertas, M.L., Seara, C., Wood, D.R., On the metric dimension of Cartesian products of graphs, *SIAM Journal in Discrete Mathematics*, 21(2) (2007) 423-441.
- [11] Kratica, J., Čangalović, M., Kovačević-Vujčić, V., Computing minimal doubly resolving sets of graphs, *Computers & Operations Research*, 36(7) (2009) 2149-2159.
- [12] Mladenović, N., Kratica, J., Kovačević-Vujčić, V., Čangalović, M., Variable neighborhood search for the strong metric dimension problem, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39 (2012) 51-57.
- [13] Estrada-Moreno, A., Rodríguez-Velázquez, J. A., Yero, I. G., The k -metric dimension of a graph. *arXiv preprint arXiv:1312.6840*. (2013)
- [14] Yero, I. G., Estrada-Moreno, A., Rodríguez-Velázquez, J.A., The k -metric dimension of a graph: Complexity and algorithms, *arXiv:1401.0342*. (2014)
- [15] Mladenović, N., Hansen, P. Variable neighborhood search, *Computers & Operations Research*, 24(11) (1997) 1097-1100.



CONCLUDING COMMENTS ON THE MINIMAL ANGLES METHOD

PREDRAG S. STANIMIROVIĆ

University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia,
E-mail: pecko@pmf.ni.ac.rs

NEBOJŠA V. STOJKOVIĆ

Faculty of Economics, Trg VJ 11, 18000 Niš, Serbia,
E-mail: nebojsas@eknfak.ni.ac.rs

Abstract: *The algorithm for a proper selection of active constraints, proposed in [N.V. Stojković and P.S. Stanimirović, Two direct methods in linear programming, Europ. J. of Oper. Res. 131(2) (2001), 417–439], is surveyed and analyzed. The algorithm arises from a generalization and formalization of the graphical procedure for solving the linear programming problems. Its geometrical essence is clear, which leads to its simplicity, efficiency and popularity. The influence of the method in the scientific literature is traced and considered.*

Keywords: *Linear programming, simplex method, active constraints, basic feasible solution.*

1. INTRODUCTION

The *simplex method* is an algorithm for solving linear problems which was discovered by George Dantzig in 1947. It occurs very frequently in almost every modern industry. In fact, areas using linear programming are as diverse as management, health, transportation, manufacturing, advertising, telecommunications, and defense. Simplex helps to guide the management on the maximum or minimum investment in a particular portfolio. In general, the simplex method is an elegant solution to a common problem in planning and decision making. In terms of widespread application, Dantzig's algorithm is one of the most successful algorithms of all time and ranked among the top 10 algorithms in the 20th century.

A solution $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_{n_1})^T$ is called feasible if it satisfies all of the constraints. A feasible solution is called optimal if, in addition, it attains the desired optimum. A basic solution of the system $A\mathbf{x} = \mathbf{b}$ is obtained by setting $n_1 - m$ variables to zero (this implies that at most m of the variables in \mathbf{x} possess nonzero values).

The simplex method requires the linear programming (LP) problem in the standard form:

$$\text{Maximize } z(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j = \langle \mathbf{c} | \mathbf{x} \rangle = \mathbf{c}^T \mathbf{x}, \quad (1.1)$$

subject to linear inequalities

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = \langle \mathbf{a}_i | \mathbf{x} \rangle \leq b_i, \quad i=1, \dots, m, \quad (1.2)$$

$$x_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n.$$

The vectors $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_n)^T$ and $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ denote the vector of coefficients in the goal function and the vector of unknown decision variables, respectively, and

$\langle \mathbf{c} | \mathbf{x} \rangle$ denotes the scalar product of the vectors \mathbf{c} and \mathbf{x} . The left hand side of any constraint in (1.2), given by

$$\langle \mathbf{a}_i | \mathbf{x} \rangle = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n, \quad i=1, \dots, m,$$

denotes the scalar product of the vectors $\mathbf{a}_i = (a_{i1}, \dots, a_{in})$ and \mathbf{x} .

The first phase of the simplex method deals with the computation of an initial basic feasible solution (First Basic Solution - FBS). The second phase of the simplex algorithm begins at a starting extreme point of P (basic feasible solutions of the LP) and moves along the extreme points until it reaches the optimal solution.

How to get an initial feasible solution (i.e. how to initialize the second phase of the simplex algorithm)? Researchers handled this question in a variety of ways.

One possible approach finds the initial feasible solution issue by adding m more variables, called artificial variables, which form the initial basis. Then subsequent applications of simplex steps drive them all out of the basis. The problem is infeasible if it is impossible to remove them out. Two-phase and big M are the most known methods to find an initial feasible basis. Both of these methods require slack and artificial variables to get the identity matrix as the initial basis. But, the slack and artificial variables increase dimensions of the problem.

The second approach, based on the Tucker tableau, was considered in the paper [5]. This approach does not involve artificial variables and it is based on certain modifications of the first phase of the simplex method.

The third algorithm was introduced in [4] and it arises from a generalization and formalization of the graphical procedure for solving the linear programming problems.

The main idea of the algorithm is that, usually, lines closest in angle to the objective form the maximum. For

this purpose, the algorithm searches $l \leq n$ constraints whose gradients grasp minimal angles with the gradient of the objective function (i.e. maximal cosine values). For this reason, the method is known as the method of minimal angles (*MA* method shortly).

2. OVERVIEW OF THE MINIMAL ANGLES METHOD

The method of minimal angles (*MA* method, shortly) was introduced in [4] and it is aimed to solve the linear optimization problems (1.1)-(1.2). The main idea used in this method arises from the graphical procedure for solving the linear programming problems.

It is known that in n -dimensional case any of the vertices of the polyhedron can be found by solving a system of n equations which are determined by some of the constraints (1.2). In [4] we propose a method for a proper selection of these equations, based on a generalization and formalization of the graphical procedure. The major idea guiding the *MA* method is the following: it is observable that the optimal vertex of the polytope is formed by the intersection of n constraints, where n is the number of variables included in the LP. These n constraints that form the optimal vertex should be the ones closest in angle to the objective function. In figures 1 and 2 it is observable that the angles between the gradients a_1 and a_2 of the first and the second constraint and c are the smallest among the angles between all constraint gradients and c .

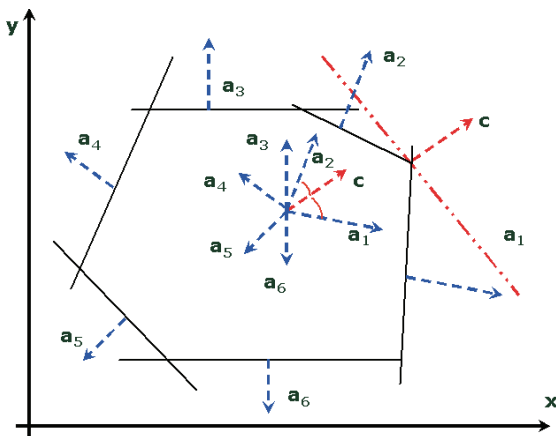


Figure 1: The maximum is grasped by the lines closest in angle to the objective in R^2 .

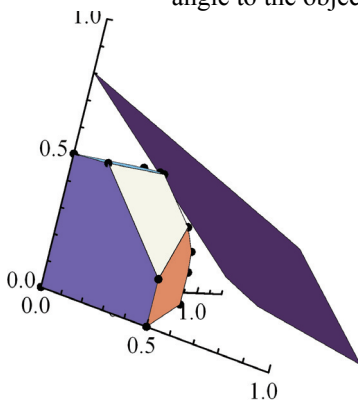


Figure 2: The maximum is grasped by the lines closest in angle to the objective in R^3 .

To simplify notations, the angle between the vectors c and a_i is denoted by $\angle(c, a_i)$. In Figure 1, it is observable that the angles $\angle(c, a_1)$ and $\angle(c, a_2)$ (between c and the Gradients $a_1 = (a_{11}, \dots, a_{1n})$ and $a_2 = (a_{21}, \dots, a_{2n})$ of the first and the second constraint, respectively) are the smallest among the acute angles $\angle(c, a_i)$, $i = 1, 2, 3$ between all constraint gradients and c . Therefore, it seems reasonable to promote the first and the second constraint, defined by

$$\begin{aligned} \langle a_1 | x \rangle &\leq b_1 \\ \langle a_2 | x \rangle &\leq b_2, \end{aligned}$$

in active. A unique solution of the system of two corresponding linear equations

$$\begin{aligned} \langle a_1 | x \rangle = b_1 &\Leftrightarrow a_{11} x_1 + a_{12} x_2 = b_1 \\ \langle a_2 | x \rangle = b_2 &\Leftrightarrow a_{21} x_1 + a_{22} x_2 = b_2 \end{aligned}$$

is just the optimal point x^* .

How to express analytically the minimal angle (i.e. the maximal cosine value) principle? Firstly, constraints closest in angle to the objective function are just the constraints whose gradients grasp minimal angles with the gradient of the objective function. Also, it is known that

$$\cos(\angle(c, a_i)) = \frac{\langle c | a_i \rangle}{\|a_i\| \|c\|},$$

where

$$\|a_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}.$$

But, since $\|c\|$ is the constant value, it is sufficient to look for maximal positive values

$$v_i = \frac{\langle c | a_i \rangle}{\|a_i\| \|c\|} = \cos(\angle(c, a_i)) \|c\|.$$

An algorithm for a proper selection of active constraints is proposed in Algorithm 1. The algorithm is based on Theorem 2.1 from [4].

Algorithm 1. (Algorithm *MA*)

Input: Coefficients c_1, \dots, c_n of the objective function and coefficients a_{ij} of the constraints set.

1: Generate the set

$$V = \left\{ v_i = \frac{\langle c | a_i \rangle}{\|a_i\|}, \|a_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}, i = 1, \dots, m \right\}. \quad (2.1)$$

2: Generate the set $V_+ = \{v_{i1}, \dots, v_{il}\}$, which contains positive elements from V .

3: Consider the following cases:

(a) In the case $l = 0$, the maximal value of the objective function $z(x)$ is equal to $z_{\max} = +\infty$.

(b) In the case $l \geq n$ apply Algorithm *MAN*.

(c) In the case $0 < l < n$ apply Algorithm *MAL*.

It is observable that the constraint whose gradient generates a larger cosine value with the objective gradient is more likely to be included at an optimal extreme point than any with a smaller value.

Algorithm 2. (Algorithm *MAN*)

Input: Coefficients c_1, \dots, c_n of the objective function and coefficients a_{ij} of the constraints set.

1: Find n maximal and positive values (if any)

$v_{i1} \geq \dots \geq v_{im} > 0$ from the set $\{v_1, \dots, v_m\}$.

2: Compute x_0 as the solution of the system of equations

$$a_{ik,1}x_1 + \dots + a_{ik,n}x_n = \langle a_{ik}|x_i \rangle = b_{ik}, k = 1, \dots, n. \quad (2.2)$$

3: Examine does x_0 is a feasible solution ($x_i \geq 0, \dots, x_n \geq 0$), because of the application of the simplex method in the next step.

4: If the conditions $x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$ are satisfied, then apply the second phase of the simplex method for a basic feasible solution (see [1, p. 26-29]). Otherwise, apply the first phase of the simplex method, which generates the first basic feasible solution and finishes by the algorithm for a basic feasible solution (see [1, p. 30-40]).

Algorithm 3. (Algorithm *MAI*)

Input: Coefficients c_1, \dots, c_n of the objective function and coefficients a_{ij} of the constraints set.

1: Find positive values v_{i1}, \dots, v_{il} from the set $\{v_1, \dots, v_m\}$.

2: Compute the basic solution x_0 as follows:

- assign arbitrary $n-l$ variables to zero, and
- compute remaining l variables as the solution of the system

$$a_{ik,1}x_1 + \dots + a_{ik,n}x_n = \langle a_{ik}|x_i \rangle = b_{ik}, k = 1, \dots, l. \quad (2.3)$$

3: Apply the first phase of the simplex method, using the basic solution x_0 .

Remark 1. The number of active constraints in the *MA* method is smaller with respect to the number of constraints used in the corresponding simplex procedure. Moreover, neither slack nor artificial variables are used in the *MA* method. Hence, each substitution of a few iterations of the simplex method by only one application of the method of minimal angles usually significantly reduces the number of floating point operations as well as the spanned processor time.

3. INFLUENCE OF THE MA METHOD

When we started investigation on the idea of minimal angles, in 1998, it seemed that the idea of minimal angles will eliminate completely the necessity to use the simplex method to solve linear programs with positive coefficients without redundant constraints! In fact, after our research and after many comments on the *MA* method, the next reality was came out:

1. The output x_0 of the *MA* method is a basic feasible solution of (1.1)-(1.2).

2. If the optimal solution in P is denoted by x_p , then the following cases frequently occur:

- (i) $x_0 = x_p$, or
- (ii) x_0 and x_p belong on the same hyperplane of P .

In any case, the output x_0 of the *MA* method could be used as the initial basic feasible solution of the simplex method.

Besides this important property, we mention the following useful property of the *MA* method. In the simplex method, all constraints together with added slack variables are used in each step. In the method of minimal angles, the number of active constraints is smaller with respect to the number of active constraints used in the corresponding simplex procedure. Moreover, slack variables are not used in the *MA* method. Therefore, dimensions of the problem considered in the *MA* method, are significantly smaller with respect to dimensions of the simplex procedure applied to the same problem. Hence, each substitution of a few iterations of the simplex method by only one application of the method of minimal angles usually significantly reduces the number of floating point operations and the spanned processor time.

As a method which is capable to create a good initial basis (initialization of the simplex), it has been followed and investigated in a number of papers or PhD theses.

Comments from [7]: "One of the methods, which the authors call the minimal angles method (*MA* method) was designed to determine either an optimal extreme point or an extreme point adjacent to an optimal extreme point."

Investigation in [1] extends the idea of minimal angles to the dual simplex method.

One characteristic comment is stated in [3]: "A different approach is taken by Stojković and Stanimirović [19], Junior and Lins [11], and Luh and Tsaih [13], who rather than improve on the simplex algorithm itself, developed a method to select a better starting point for the simplex method which reduces the number of simplex iterations needed."

The general conclusion from [2] is: "Although the method is very effective, and can create an optimal basis for linear programming on some occasions, it clearly can only create a good initial basis in general, not an exact optimal basis."

4. EXAMPLES

Example 1. In general, the point x_0 generated by the *MA* method does not coincide with the optimal point x_p . Such an example is illustrated in Figure 3.

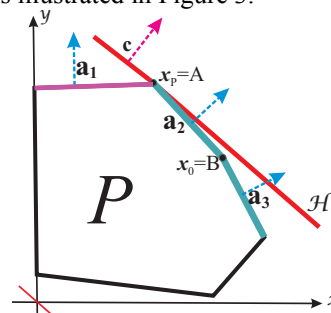


Figure 3: The output of the *MA* method is not optimal.

Example 2. Consider the linear problem from [4] which was used as an appropriate test example in [6]:

Maximize

$$-8919x_1 - 5981x_2 - 9892x_6 - 3x_{10} - 9800x_{11} - 9989x_{14} - 993x_{15} + 9978x_{17} - 9687x_{18} - 9993x_{19} + 9800x_{20}$$

subject to constraints

$$\begin{aligned} &8919x_1 - 4788x_2 - 2x_3 - 9733x_4 - 3993x_5 - x_7 - x_8 - 9002x_9 - 9789x_{10} + x_{11} - 3x_{12} - 9971x_{13} \\ &+ x_{14} - x_{15} - x_{16} - 9978x_{17} + 9687x_{18} + 9993x_{19} - x_{20} = -9791, \\ &-8919x_1 - 4790x_2 + 2x_3 - 9733x_4 - 3993x_5 - 2x_6 + x_7 + x_8 - 9002x_9 + 9789x_{10} + x_{11} - 3x_{12} \\ &- 9971x_{13} + 4902x_{14} - x_{15} + x_{16} + 9978x_{17} - 9687x_{18} - 9993x_{19} - x_{20} = 9789, \\ &8919x_1 - x_2 - 2x_3 - 2x_6 - x_7 - x_8 + 9789x_{10} - x_{11} + 4901x_{14} - x_{16} - 9978x_{17} + 9687x_{18} + 9993x_{19} + x_{20} = -9790, \\ &-4788x_2 - 2x_3 - x_7 - x_8 - 9789x_{10} + x_{14} - x_{15} - x_{16} = -9790, \\ &8919x_1 - 4789x_2 + 2x_3 + 9733x_4 + 3993x_5 + x_7 + x_8 + 9002x_9 + 3x_{12} + 9971x_{13} + x_{14} - x_{15} + x_{16} - 9978x_{17} \\ &+ 9687x_{18} + 9993x_{19} = 9791, \\ &-8919x_1 + 4789x_2 - 2x_3 + 9733x_4 + 3993x_5 + 2x_6 - x_7 - x_8 + 9002x_9 + x_{11} + 3x_{12} + 9971x_{13} - 4902x_{14} + x_{15} \\ &- x_{16} + 9978x_{17} - 9687x_{18} - 9993x_{19} - x_{20} = -9789, \\ &4788x_2 + 2x_3 - 9733x_4 - 3993x_5 - 2x_6 + x_7 + x_8 - 9002x_9 + 9789x_{10} + x_{11} - 3x_{12} - 9971x_{13} + 4900x_{14} \\ &+ x_{15} + x_{16} - x_{20} = 9789, \quad -x_1 \leq -9872, \quad -x_{16} \leq -8790. \end{aligned}$$

In 3 iterations we get the maximal value 0, and the extreme point

$$\{x_1 \rightarrow 9872, x_{10} \rightarrow 0, x_{11} \rightarrow 0, x_{12} \rightarrow 1/3, x_{13} \rightarrow 0, x_{14} \rightarrow 0, x_{15} \rightarrow 0, x_{16} \rightarrow 8790, x_{17} \rightarrow 14674728/1663, x_{18} \rightarrow 0, x_{19} \rightarrow 0, x_2 \rightarrow 0, x_{20} \rightarrow 0, x_3 \rightarrow 500, x_4 \rightarrow 0, x_5 \rightarrow 0, x_6 \rightarrow 0, x_7 \rightarrow 0, x_8 \rightarrow 0, x_9 \rightarrow 0\}.$$

The programs *PCx* and *HOPDM* are unable to solve the stated problem! *PCx* stops after 9 iterations with unknown status, by proposing the maximal value equal to $-3.23998779e+003$. Similarly, *HOPDM* stops after 6 iterations with suboptimal status, offering the maximal value $-7.1e+1$.

On the other hand, both Algorithm *AI* and the original simplex method solve this problem after only 3 iterations!

Example 3. To illustrate the influence of redundant constraints on Algorithm 1, let us consider the following problem:

Maximize:

$$z(x_1, x_2) = x_1 + x_2$$

Subject to:

$$\begin{aligned} (C1) \quad &x_1/3 + x_2 \leq 1 \\ (C2) \quad &x_1 + x_2 \leq 2 \\ (C3) \quad &x_1 + x_2/3 \leq 1. \end{aligned}$$

The graphical illustration of the objective and the constraints included in (2.4) is presented in Figure 4.

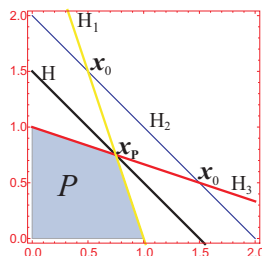


Figure 4: Illustration of redundant constraints.

The minimal angle (equal 0) is grasped between the line *H* representing the objective function and the line

$$H_2 \equiv x_1 + x_2 = 2,$$

representing the redundant constraint (C2). Further, the angles between the vector *H* and the lines $H_1 \equiv x_1/3 + x_2 = 1$ and $H_3 \equiv x_1 + x_2/3 = 1$ are identical. More precisely, the following holds:

$$\angle(c, a_2) < \angle(c, a_1) = \angle(c, a_3).$$

The *MA* method produces two alternative solutions:

$$x_0 = H_2 \cap H_3 \text{ or } x_0 = H_2 \cap H_1.$$

The choice

$$x_0 = H_2 \cap H_3$$

leads to $x_0 = (1/2, 3/2) \notin P$. Similarly,

$$x_0 = H_2 \cap H_1 = (3/2, 1/2) \notin P.$$

But, the optimal solution is in

$$x_p = H_1 \cap H_3 = (3/4, 3/4).$$

If the redundant constraint (C2) is eliminated, then *MA* gives the correct solution:

$$x_0 = x_p = (3/4, 3/4).$$

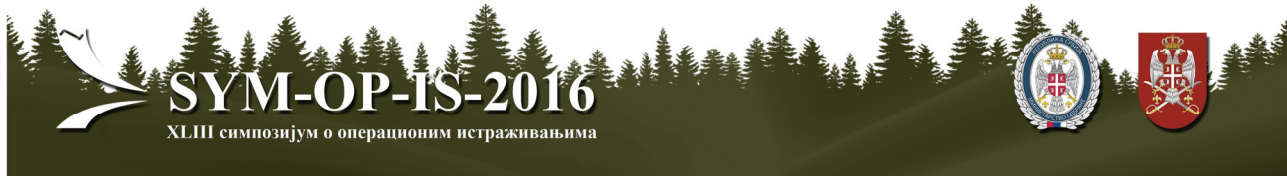
5. CONCLUSION

What is the general conclusion about the *MA* method? Clearly, the *MA* idea did not eliminate the need to use the simplex method to solve linear programs nor even the linear programs with positive coefficients and without redundant constraints! *MA* method will be remembered and used as one of good heuristics for the simplex method initialization. The most important conclusion is: there is no a magic wand to solve the LP problem in a single step.

So far, it is shown that only two-variable linear programming problems with many constraints can be solved by a direct method defined in two steps.

REFERENCES

- [1] H.V. Junior, M.P.E. Lins, *An improved initial basis for the Simplex algorithm*, Computers & Operations Research 32 (2005), 1983–1993.
- [2] W. Li, *A note on two direct methods in linear programming*, Europ. J. Oper. Res. 158 (2004), 262–265.
- [3] C. Al-Najjar, B. Malakooti, *Hybrid-LP: Finding advanced starting points for simplex, and pivoting LP methods*, Computers & Operations Research 38 (2011), 427–434.
- [4] N.V. Stojković and P.S. Stanimirović, *Two direct methods in linear programming*, Europ. J. Oper. Res. 131(2) (2001), 417–439.
- [5] N.V. Stojković, P.S. Stanimirović, D. Milojković, M.D. Petković, *On the simplex algorithm initializing*, Abstract and Applied Analysis 2012 (2012), Article ID 487870, 15 pages, doi:10.1155/2012/487870.
- [6] V. Kovačević-Vujčić, *Technical Report 901-98, Laboratory of Operations Research, Faculty of Organizational Sciences, 1998.*
- [7] C.M. Wang, *Comments on Two Direct Methods in Linear Programming*, Ph.D. Thesis, Faculty of Graduate Studies and Research, University of Windsor.



MIXED FORMULATION VNS FOR BARGE ROUTING AND SCHEDULING

TATJANA DAVIDOVIĆ

Matematički institut SANU, Beograd, tanjad@mi.sanu.ac.rs

JASMINA LAZIĆ

MathWorks, Inc. Matrix House, Cambridge, United Kingdom, jsmnlzc@yahoo.com

VLADISLAV MARAŠ

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, v.maras@sf.bg.ac.rs

Abstract: Routing and scheduling of barge container ships is an important optimization problem in transport engineering. It consists of determining the upstream and downstream calling sequence and the number of loaded and empty containers transported between any two ports with the objective to maximize the profit of a shipping company. Finding good (possibly optimal) solutions for this problem was shown to be very hard due to its complexity. We propose to combine two formulations, Combinatorial and Mixed Integer Linear Programming (MILP), into the Variable Neighborhood Search (VNS) framework with an aim to generate efficient method for the considered problem. We compare the proposed approach with the state-of-the-art Mixed Integer Programming (MIP) based heuristics and previously developed Multistart Local Search (MLS) by running all methods within a predefined time limit. It appears that MLS is able to improve the results obtained by the MIP-based heuristic methods, while VNS outperforms all methods with respect to solution quality and requires slightly more running time than MLS.

Keywords: Barge Container Ships, Combinatorial Formulation, 0-1 Mixed Integer Programming, Meta-heuristics.

1. INTRODUCTION

The routing of container ships is a common problem in sea and inland waterway transport [1-4]. The problem consists of finding the route (represented by a list of visited ports) and the number of containers (both loaded and empty) to be transferred between any two calling ports for a given container ship in such a way as to maximize the given objective. The optimality may be defined with respect to various criteria (total number of transported containers, fulfilment of customer demands, shipping company profit, etc.). Obtaining an optimal solution is a key factor for successful transport business. Unfortunately, like in many other practical cases, the complexity of real life problems exceeds the capacity of the available computational resources. Therefore, meta-heuristic methods, especially hybrid methods, providing good quality sub-optimal solutions, represent natural choice.

The problem considered in this paper consists of finding the route for a given barge container ship in such a way as to maximize the profit of the shipping company. [4]. The first port (a sea port located at a river mouth) and the last port (the furthest port upstream) are always included in a solution, while the remaining ports in either direction (upstream or downstream) may or may not appear in the optimal solution. Having the number and sequence of calling ports fixed, the container traffic still remains to be resolved. As it is not realistic to suppose that capacity of barge container ship ensures the satisfaction of all customer demands, container traffic between ports has a highly significant role. Determining optimal container

traffic between calling ports is probably an NP-hard problem itself since the number of possible combinations depends on the capacity of the ship and the customer requests.

For the first time, this problem was studied in [4]. Lingo programming language was used to determine optimal solutions for small instances of the given problem (up to 10 possibly calling ports). By optimizing Mixed Integer Linear Programming (MILP) formulation, switching to CPLEX and more powerful computer under Linux, the authors of [5] were able to optimally solve instances with up to 20 ports, but required CPU time sometimes exceeded 29h. Moreover, they adopted some of the well-known Mixed Integer Programming (MIP) based heuristics out of which Variable Neighborhood Branching, VNB [6] performed the best. As it was shown in [5], the main problem with exact and MIP-based solution methods is not the solution time but the lack of memory.

Here, we discuss an alternative way for treating this problem. We propose to combine combinatorial and MILP formulation within a meta-heuristic framework to overcome both memory and CPU time problems when dealing with real-life problem instances. By fixing some of the variables determined easily from the combinatorial formulation, we are able to reduce the size of the sub-problem treated by MILP solver. Our preliminary experimental results [7] show that even pure local search is able to obtain good quality solutions within negligible execution time. Moreover, the simplest meta-heuristic based on this local search, Multi-start Local Search

(MLS), managed to outperform the best among the MIP-based heuristics with respect to both solution quality and running time. Here, we present the results obtained by the Variable Neighborhood Search (VNS) method based on combination of two formulations.

The rest of this paper is organized as follows. In the next section we briefly describe the considered problem. In Section 3, we describe the implementation of local search based mixed formulation meta-heuristics for a given problem. The experimental evaluation is described in Section 4. Concluding remarks are given in Section 5.

2. ROUTING OF CONTAINER SHIPS

The MILP formulation for this problem was proposed in [5] and, due to the lack of space, we will not recall it here. Instead, we describe combinatorial formulation in some detail. The objective when designing the transport route of a barge container ship is to maximize shipping company profit (Y), i.e., the difference between the revenue arising from the service of loaded containers (R) and the transport costs which are costs related to shipping (TC) and costs related to empty containers handling (EC) [8]. Therefore, the objective function has the form:

$$Y = R - TC - EC \quad (1)$$

The exact calculation of the shipping company profit is specified by the MILP formulation presented in [5].

Combinatorial formulation of our problem is developed with an aim to minimize the number of variables that have to be determined during the solution process. To calculate the profit Y we need to specify upstream and downstream sequence of calling ports and the number of containers (both loaded and empty) transported between them.

Let us denote by X a $(2n-1)$ -dimensional vector with each element defined as follows:

$$X[i] = \begin{cases} 1, & \text{if port } i \text{ is included upstream;} \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

for $0 \leq i \leq n$, and

$$X[i] = \begin{cases} 1, & \text{if port } 2n - i \text{ is included downstream;} \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

for $n < i \leq 2n-1$.

Since the first (sea port) and the last port are always included into calling sequences, we obviously have $X[1]=1$, $X[n]=1$ and $X[2n-1]=1$.

In order to determine the number of loaded (z_{ij}) and empty (w_{ij}) containers to be transferred between each two ports i and j included into the calling sequence it is obvious that the following relation folds:

$$X[i] = 0 \text{ or } X[j] = 0 \Rightarrow z_{ij} = 0 \text{ and } w_{ij} = 0, \quad 0 \leq i, j \leq n.$$

Therefore, the values for z_{ij} and w_{ij} need to be determined only for non-zero elements of vector X .

This solution representation is very compact, contains only $2n-1$ binary elements to represent both (upstream and downstream) parts of the transport route, $2(n^2-n)$ integers and two floating point variables (total round trip time and profit). It also follows the mathematical model of the problem and allows simplifying the calculation of all relevant data.

On the other hand, this representation does not uniquely determine all components of the problem's solution. The calculation of z_{ij} and w_{ij} is an optimization task itself. In this work we propose to use the optimal solver for determination of the container distribution, i.e., to combine heuristic search over the set of ports with an optimal solution method to determine the container distribution. More precisely, we develop hybrid between meta-heuristic method and exact MILP solver using both formulations: In meta-heuristic framework combinatorial formulation is used to specify sequences of calling ports and then MILP formulation is invoked in order to determine the remaining parts of the solution. The proposed hybrid method is described in the next section.

3. VNS BASED META-HEURISTIC

Combining various formulations when building an efficient solution method is not a new idea [9]. It is usually problem dependent and requires solid *a priori* knowledge about problem in hand. However, usually the formulations of the same type are combined. Here, we use significantly different formulations, combinatorial and MILP.

Since the solution is represented by a binary array whose elements are indicating if the port is included into calling sequence and in which direction it is included, the natural way to define transformations describing neighborhoods is to use Hamming distance between solutions. In our local search procedure, we generate all neighbors at distance 1 from a given solution. Namely the neighbor X' of a solution X is obtained by removing/inserting a port. Therefore, the neighborhood size is $O(n)$, since each solution has $2n-4$ neighbors at Hamming distance 1 (recall that $|X| = 2n-1$ and $X[0]=X[n]=X[2n-1]=1$).

Our local search procedure performs a systematic search in the given neighborhood of the current solution X_{\min} , in order to find solutions better than X_{\min} with respect to the objective function value $f(X)$.

After vector X' is generated, the values for all n^2-n variables x_{ij} from the corresponding MILP formulation proposed in [5] are determined and fixed in order to reduce the size of the subproblem to be given to CPLEX. The CPLEX is then used to compute the corresponding objective function value $f(X')$ by solving the supplied MIP sub-problem. The same mechanism is used to obtain the initial value for $f(X)$.

As a starting point, we selected the solution that includes all ports in both upstream and downstream sequences whenever it was possible. The guide for such a selection was the fact that increase in profit is to be expected if more ports are

visited. Sometimes, this solution may be infeasible since the constraint connected to the travel time is violated. In these few cases we selected initial solution by random extraction of a single port from the calling sequence.

The obtained reduction in the problem size is significant since CPLEX requires less than a second to complete the solution even for the largest size examples. Moreover, in most of the cases it obtains optimal container distribution for a given calling sequence of ports. Rarely, infeasible solutions are produced, mainly because the violation of constraint related to the round trip time.

The proposed mixed-formulation local search represents good basis for the implementation of local search based meta-heuristic methods and we implemented MLS [7] and VNS within this framework. MLS consists of iterations containing three steps: initial solution generation, local search improvement and global best solution update. At the beginning of each iteration random initial solution is generated. It is then improved by a proposed mix-formulation local search and the obtained local minimum is compared with the current best solution. If a better solution is obtained, global best is updated and the time required to its generation is saved. Then, new iteration can start. The process continues until the specified stopping criterion (here, allowed running time) is satisfied.

VNS meta-heuristic was proposed for the first time by Mladenović and Hansen [10]. It can be described as follows. First we define the set of *solutions* S and the set of *feasible solutions* $X \subseteq S$. Let $x \in X$ be an arbitrary solution and N_k , ($k=1, \dots, k_{max}$), a finite set of pre-selected neighborhood structures. Then $N_k(x)$ is the set of solutions in the k^{th} neighborhood of x .

Usually, the initial solution for VNS is determined by some constructive scheduling heuristic and then improved by local search before the beginning of actual VNS procedure. Main loop of VNS consists of four steps: shaking, improving, moving and stopping criterion checking. *Shaking* is the diversification step involving generation of a random point x' in the k^{th} neighborhood of the current best solution x . This solution represents the starting point for selected local search procedure performed within the *improving* step. The obtained (improved) local minimum x'' is used in the *moving* step to guide the further search: if it becomes the new current incumbent, the search is concentrated around this solution, otherwise the next neighborhood for shaking is selected. The final step is used to verify if the stopping criterion is met. Recent developments and applications of VNS could be found, for example, in [11].

In our implementation, combinatorial formulation is used within both shaking and move steps. In shaking it is used to find a random solution (sequence of calling ports) in the k^{th} neighborhood of the current best solution, i.e., the solution X' such that the Hamming distance between X and X' equals k . Improving step involves the above described local search procedure in the neighborhood $N_1(X)$.

4. EXPERIMENTAL EVALUATION

To be able to evaluate the proposed VNS, we selected the same set of test examples as the one used in [5] and the same computational environment: Intel Core 2 Duo CPU E6750 on 2.66GHz with RAM=8Gb under Linux Slackware 12, Kernel: 2.6.21.5, CPLEX 11.2 and the applied heuristic methods coded in C++ programming language for Linux operating system and compiled with gcc (version 4.1.2) and the option -o2.

Table 1: Comparison of solution qualities

Instance	Profit (\$US)			
	CPLEX	VNB	MIX-MLS	MIX-VNS
Port10 1	22339.01	22339.00	21997.46	22338.99
Port10 2	24738.23	24738.23	24737.92	24737.92
Port10 3	23294.74	23294.74	23294.77	23294.77
Port10 4	20686.27	20686.27	20686.26	20686.26
Port10 5	25315.00	25315.00	25315.32	25315.32
Port15 1	12268.96	12268.54	12268.54	12268.54
Port15 2	25340.00	25340.00	25341.50	25341.50
Port15 3	13798.22	13798.64	13798.64	13798.64
Port15 4	22372.58	22372.58	22371.79	22371.79
Port15 5	15799.96	15800.00	15800.29	15800.29
Port20 1	18296.19	19586.02	19660.80	19891.78
Port20 2	32789.55	33204.26	33082.17	33204.26
Port20 3	19626.28	21043.05	20944.86	20981.38
Port20 4	26996.03	27962.31	27962.31	27962.31
Port20 5	23781.17	24235.86	24123.82	*24257.89
Port25 1	20539.88	17708.32	21239.57	21843.13
Port25 2	32422.19	33342.05	33304.32	34410.43
Port25 3	20008.23	23019.65	22265.91	23286.28
Port25 4	27364.50	25334.19	28265.95	29177.51
Port25 5	22897.03	24621.21	25179.13	26190.12
Average	22533.70	22800.50	23082.07	23357.96

*-solution proven optimal by CPLEX [5].

Table 2: Comparison of running times

Instance	Profit (\$US)			
	CPLEX	VNB	MIX-MLS	MIX-VNS
Port10 1	21.30	41.32	18.73	12.57
Port10 2	0.99	3.77	1.23	1.48
Port10 3	19.79	39.04	21.87	3.22
Port10 4	3.03	7.30	21.62	14.84
Port10 5	8.83	32.93	19.29	5.15
Port15 1	900.00	16.73	14.00	0.48
Port15 2	212.76	27.50	10.63	0.31
Port15 3	873.43	7.36	14.77	0.46
Port15 4	900.00	54.61	38.69	32.54
Port15 5	426.72	3.25	9.04	0.24
Port20 1	1800.00	1832.86	1144.46	209.66
Port20 2	1800.00	1450.61	801.84	57.41
Port20 3	1800.00	1822.16	927.17	251.35
Port20 4	1800.00	1571.32	162.40	74.77
Port20 5	1800.00	1858.44	603.63	898.68
Port25 1	3600.00	3838.32	1163.50	2434.65
Port25 2	3600.00	3645.61	243.10	1401.42
Port25 3	3600.00	3670.78	1386.54	2338.78
Port25 4	3600.00	3586.98	763.37	1651.66
Port25 5	3600.00	3877.59	2260.30	1376.10
Average	1518.34	1369.42	481.31	538.29

The comparison results between the proposed mixed formulation based MLS and VNS (denoted as MIX-MLS and MIX-VNS, respectively), exact solver, and state-of-the-art MIP-based method (VNB) are reported in Tables 1 and 2. Table 1 contains the objective function value (profit to be maximized) obtained by all compared methods within a given CPU time limit (60, 900, 1800 and 3600 seconds for 10, 15, 20 and 25 ports, respectively). Minimum required times to obtain the final solution by all methods are presented in Table 2. The best results in both tables are presented in bold.

As can be seen from the results presented in Tables 1 and 2, MIX-MLS outperforms MIP-based methods on average: it offers better solution quality within significantly smaller execution time with respect to previously best performing method. Within a given time limit, MIX-VNS outperforms other methods with respect to solution quality. Its superiority is especially evident for the large size problem instances. On the smaller instances, CPLEX is able to provide better solutions, sometimes even optimal ones, however, when the instance size is growing, CPLEX performance is dropping.

The fastest solution method, on average, is MIX-MLS, however, the solution quality remains lower compared to MIX-VNS. Actually, MIX-VNS provides, on average, the best solutions within execution time slightly larger than for MIX-MLS. However, the execution speed is not critical for this problem since it provides directions for strategic decisions to be valid for a long term period, usually, a whole year or even more. Therefore, we consider MIX-VNS as a most suitable method for real life instances of larger size.

5. CONCLUSION

We addressed the barge container ship routing problem with an aim to maximize the shipping company profit while transferring containers along the inland waterway with empty container repositioning. We proposed Variable Neighborhood Search (VNS) solution method is based on the combination of two formulations: MILP and combinatorial. Each solution is represented by the upstream and downstream calling sequences. Combinatorial formulation is used for the implementation of basic VNS operations, while MILP formulation is then invoked to complete the solution by solving the resulting subproblem: determination of corresponding number of transported loaded and empty containers. By fixing ports within upstream and/or downstream calling sequences we manage to significantly reduce original problem and it becomes easy for the commercial CPLEX MIP solver. The presented experimental evaluation shows that even the simplest meta-heuristic, Multi-start Local Search (MLS), outperforms state-of-the-art MIP based heuristic Variable neighborhood branching (VNB) with respect to both solution quality and running time. The proposed VNS turned out to be superior over all tested methods with respect to the solution quality. However, it requires little bit more time to significantly increase the

performance with respect to MLS. The proposed approach represents good basis for implementation of various meta-heuristic methods and future research may also include the development of population based methods.

Acknowledgements. This work has been partially supported by Serbian Ministry of Education, Science, and Technological Development, grant Nos. ON174010, ON174033 and a bilateral project from the Pavle Savić programme for year 2016/17 no. 451-03-39/2016/09/09.

REFERENCES

- [1] Agarwal, R., Ergun, Ö., "Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping", *Transportation Science*, 42:175-196, 2008.
- [2] COLD, *Container Liner Service Danube*, Technical report, via Donau, ÖIR, Port of Constantza, Final Report, Vienna, 2006.
- [3] Konings, R., Hub-and-spoke networks in container-on-barge transport, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1963, NRC, Washington, D.C:23-32, 2006.
- [4] Maraš, V. Determining optimal transport routes of inland waterway container ships, In *Transportation Research Record: J. Transportation Research Board*, 2062, NRC, Washington, D.C:50-58, 2008.
- [5] Maraš, V., Lazić, J., Davidović, T., Mladenović, N., Routing of barge container ships using MIP heuristics, *Applied Soft Computing*, 13(8):3515-3528, 2013.
- [6] Hansen, P., Mladenović, N., Urošević, D., Variable neighbourhood search and local branching, *Comput. Oper. Res.*, 33(10):3034-3045, 2006.
- [7] Davidović, T., Lazić, J., Maraš, V., Combinatorial formulation guided local search for inland waterway routing and scheduling, In *Proc. 13th IASTED International Conference on Control and Applications* (on CD 729-091.pdf), pp. 241-248 (DOI: 10.2316/P.2011.729--091), Vancouver, Canada, 2011.
- [8] Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., The container shipping network design problem with empty container repositioning, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(1):39-59, 2007.
- [9] Mladenović, N., Plastria, F., Urošević, D., "Formulation space search for circle packing problems." *Engineering Stochastic Local Search Algorithms. Designing, Implementing and Analyzing Effective Heuristics*, LNCS 4638, pp. 212-216, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [10] Mladenović, N., Hansen, P., Variable neighborhood search, *Comput. Oper. Res.*, 24(11):1097-1100, 1997.
- [11] Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J., Moreno Pérez, J. A. Variable neighborhood search, In Gendreau, M., Potvin, J-Y., editors, *Handbook of Metaheuristics*, pp. 61-86. (2nd edition) Springer, New York Dordrecht Heidelberg London, 2010.



FOURIER-MOTZKIN-ОВА МЕТОДА ЕЛИМИНАЦИЈЕ ЗА СИСТЕМЕ СТРОГИХ И НЕСТРОГИХ ЛИНЕАРНИХ НЕЈЕДНАЧИНА

FOURIER-MOTZKIN ELIMINATION METHOD FOR MIXED LINEAR SYSTEMS

ЂОРЂЕ ДУГОШИЈА

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, dugosija@matf.bg.ac.rs

АЛЕКСАНДАР САВИЋ

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, aleks3rd@matf.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду детаљно описујемо модификацију Fourier-Motzkin-ове методе елиминације за решавање система линеарних неједначина који може имати и строге и нестроге неједначине. Као последицу дајемо кратак и елементаран доказ Kuhn-ове теореме алтернативе.

Кључне речи: Систем линеарних неједначина. Fourier-Motzkin-ов метод елиминације.

Abstract: In this paper we developed modification of the Fourier-Motzkin elimination method for a system of linear inequalities containing both strict and weak inequalities. As a consequence we propose a short and simple proof of the most general Kuhn's theorem of alternative.

Keywords: System of linear inequalities. Fourier-Motzkin elimination method

1. УВОД

У математичком програмирању традиционално се појављују само ограничења у форми слабих неједнакости док се строге неједнакости користе углавном у теоријске сврхе. Ипак неки проблеми као стабилност, сепарација, препознавања облика, аутоматско едитовање и др. воде на решавање система који поред слабих имају и строга ограничења. Метода за решавање мешовитих система има мало. Стога је од значаја проширење Fourier-Motzkin-ове идеје елиминације ([4],[5]) са стандардног на мешовити систем линеарних неједначина. То је урађено у [1] без детаљне теорије и илустровано једним примером из проблема аутоматског едитовања, не наводећи при том претходни рад Kuhn-а [6] у коме је разматран проблем конзистентности мешовитог система. Резултати Kuhn-овог рада су камуфлирани увођењем слабо познатог појма легалне комбинације и зато вероватно остали непознати. За неке делове рада Kuhn је тврдио да су тривијални или мучни за доказивање. Резултати овог рада показују да је Kuhn само делимично био у праву.

2. МЕТОДА ЕЛИМИНАЦИЈЕ

Разматрамо проблем решавања система по x

$$\begin{aligned} a_i x &> \alpha_i, i = 1, \dots, k \\ b_j x &\geq \beta_j, j = 1, \dots, l \end{aligned} \quad (S)$$

где је

$$\begin{aligned} a_i &= (a_{i1} \cdots a_{i\alpha} \cdots a_{in}), b_j = (b_{j1} \cdots b_{j\alpha} \cdots b_{jn}), \\ x &= (x_1 \cdots x_\alpha \cdots x_n)^T \end{aligned}$$

Изаберимо неку променљиву x_α овог система.

Уколико су сви коефицијенти уз њу у систему једнаки нули, она је слободна променљива система. За било коју изабрану вредност те променљиве, систем се своди на систем по осталим променљивим. У супротном, сваку неједначину система у којој се појављује изабрана непозната x_α са коефицијентом различитим од нуле можемо решити по непознатој x_α . Тиме добијамо еквивалентан систем чије неједначине суједног од облика

$$m_u < x_\alpha, u \in I^+ = \{i \mid i \in \{1, 2, \dots, k\} \wedge a_{i\alpha} > 0\}$$

$$m_v \leq x_\alpha, v \in J^+ = \{j \mid j \in \{1, 2, \dots, l\} \wedge b_{j\alpha} > 0\}$$

$$x_\alpha < M_s, s \in I^- = \{i \mid i \in \{1, 2, \dots, k\} \wedge a_{i\alpha} < 0\}$$

$$x_\alpha \leq M_t, t \in J^- = \{j \mid j \in \{1, 2, \dots, l\} \wedge b_{j\alpha} < 0\}$$

Добијене **строге миноранте** $m_u, u \in I^+$, **не-строге миноранте** $m_v, v \in J^+$, **строге мајоранте** $M_s, s \in I^-$ као и **нестроге**

мајоранте $M_t, t \in J^-$ су, ако уопште постоје, линеарно-афине функције променљивих $\{x_1, \dots, x_n\} \setminus \{x_\alpha\}$.

Уколико смо добили само миноранте (тј. ако је $I^- \cup J^- = \emptyset$) или само мајоранте (ако је $I^+ \cup J^+ = \emptyset$), свако решење полазног система добија се решавајући подсистем система (S) састављен од неједначина које не садрже променљиву

$$x_\alpha$$

$$a_i x > \alpha, i \in I^0 = \{i \mid i \in \{1, 2, \dots, k\} \wedge a_{i\alpha} = 0\}$$

$$b_j x \geq \beta, j \in J^0 = \{j \mid j \in \{1, 2, \dots, l\} \wedge b_{j\alpha} = 0\} \quad (2)$$

или слободним избором вредности за $\{x_1, \dots, x_n\} \setminus \{x_\alpha\}$ уколико (2) не постоји (ако је $I^0 \cup J^0 = \emptyset$), а потом избором вредности за x_α које задовољавају све добијене нумеричке неједнакости из (1). Систем (2) је дакле резултат елиминације променљиве x_α из система, а ако не постоји, полазни систем је решен на описани начин.

Размотримо сада случај кад у (1) има и миноранти и мајоранти. Због својстава релације поретка, важе неједнакости између сваког пара егзистирајућих миноранти и мајоранти:

$$m_u < M_s, u \in I^+, s \in I^-$$

$$m_u < M_t, u \in I^+, t \in J^-$$

$$m_v < M_s, v \in J^+, s \in I^- \quad (3)$$

$$m_v \leq M_t, v \in J^+, t \in J^+$$

Систем кога чине неједначине (2) и (3) са неједначинама записаним у еквивалентном облику као "линеарна функција по променљивим $\{x_1, \dots, x_n\} \setminus \{x_\alpha\} >$ или \geq од неке константе" зваћемо **елиминанта** система (S).

Уколико полазни систем има бар једно решење и добијена елиминанта има решења. Важи и

обрнуто. Свако решење елиминанте може се надопунити вредношћу променљиве x_α до решења полазног система. Заиста, у изабраном решењу елиминанте миноранте и мајоранте добијају нумеричке вредности. Вредност x_α може се произвољно бирати из интервала чије су границе максимум вредности свих добијених миноранти односно минимум вредности добијених мајоранти, укључујући и саме границе, уколико се максимум вредности миноранти достиже једино у нестрогој миноранти, односно ако се минимум вредности мајоранти достиже једино у нестрогој мајоранти. Овако се очигледно може добити свако решење полазног система. Тиме се решавање система своди на решавање његове елиминанте и надопуну њених изабраних решења са вредношћу елиминисане променљиве на описани начин.

Поступак елиминације се може наставити на добијеној елиминанти. Он стаје после коначно много корака. То се догађа ако дођемо:

а) до елиминанте која има променљиву уз коју су сви коефицијенти позитивни или сви негативни па се при покушају елиминације те променљиве појављују само миноранте или само мајоранте. Систем се тада може решити на већ описани начин;

б) до елиминанте који садржи (бројевну) неједнакост облика

$$0 \cdot x_1 + \dots + 0 \cdot x_n > \alpha, \alpha \geq 0$$

или

$$0 \cdot x_1 + \dots + 0 \cdot x_n \geq \beta, \beta > 0$$

Тада ни полазни систем нема ни једно решење.

с) до елиминанте која садржи само тачне бројевне неједнакости. Полазни систем тада има решења која се могу реконструисати одређивањем вредности елиминисаних променљивих редоследом обрнутим редоследу њиховог елиминисања.

3. МЕТОДА СУПРОТНИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА:

Назовимо **импликантом** неједначину било које елиминанте написану у облику неједначина система (S). Приметимо да сваку импликанту прве елиминанте добијену елиминацијом неке променљиве можемо добити на следећи начин:

Претпоставимо да имамо две неједначине система са супротним по знаку коефицијентима уз неку променљиву x_α коју желимо да елиминишемо, на пример

$$\dots + a_{i\alpha}x_\alpha + \dots > \alpha_i$$

$$\dots - b_{j\alpha}x_\alpha + \dots \geq \beta_j$$

$$a_{i\alpha}, b_{j\alpha} > 0$$

Уместо да сваку решавамо по x_α , а затим формирамо импликанту упоредјујући добијену строгу миноранту и нестрогу мајоранту, исту импликанту можемо добити једноставније множењем страна ових неједначина са $b_{j\alpha}$ односно $a_{i\alpha}$:

$$\dots + a_{i\alpha}b_{j\alpha}x_\alpha + \dots > \alpha_i b_{j\alpha}$$

$$\dots - a_{i\alpha}b_{j\alpha}x_\alpha + \dots \geq a_{i\alpha}\beta_j$$

и сабирањем по странама:

$$\dots + 0 \cdot x_\alpha + \dots > \alpha_i b_{j\alpha} + a_{i\alpha}\beta_j.$$

Исти поступак ради и у другим случајевима. Приметимо да сабирањем страна две неједначине добијамо увек строгу неједначину, осим ако су обе неједначине биле нестроге.

Следећи пример илуструје како саму методу тако и њену употребну вредност у задатку одредивања целобројних решење датог мешовитог система целобројних неједначина.

Пример. Одредити методом елиминације лексикографски минимум

$$lex - \min \{z, y, x\}$$

$$p.o. \quad -2x + y - z > -3$$

$$x - y + z \geq -2$$

$$2y - z \geq 2$$

$$-x - y - z \geq -4$$

$$x, y, z \in Z$$

Елиминишемо редом променљиве x, y, z .

Помножимо стране друге неједначине са 2 и додамо странама прве неједначине. Добијамо импликанту

$$-y + z > -7.$$

Стране друге неједнакости додамо странама четврте. Добијамо импликанту

$$-2y > -6.$$

Допишемо неједнакост која не садржи x ,

$$2y - z \geq 2.$$

Последње три неједнакости граде прву елиминанту. Елиминишемо из ње непознату y . Добијамо елиминанту

$$z > -12$$

$$-z > -4.$$

Ова елиминанта има решење $z \in (-12, 4)$.

Користећи услов целобројности и функцију циља пробамо са $\bar{z} = -11$. Заменом y неједнакости претходне елиминанте налазимо да је

$$y < -4, y < 3, y > -\frac{9}{2}.$$

Ови услови немају целобројно решење. Зато пробамо са $\bar{z} = -10$. Добијамо услове

$$y < -3, y < 3, y \geq -4.$$

Најмање целобројно решење је $\bar{y} = -4$ па пробамо са том вредношћу. Заменом \bar{y}, \bar{z} у полазни систем налазимо

$$x < \frac{9}{2}, x \geq 4, x \leq 18.$$

Најмање целобројно решење је $\bar{x} = 4$.

Тражени лексикографски минимум је тачка $(4, -4, -10)$.

4. OPIS IMPLIKANTI

Приметимо да се свака строга импликанта прве елиминанте система линеарних неједначина може добити множењем страна свих неједначина система (S) са ненегативним мултипликаторима и сабирањем добијених страна, при чему је бар један од мултипликатора који одговара строгој неједначини позитиван (односно позитиван је збир мултипликатора који одговарају строгим неједначинама). Такође свака нестрога импликанта може се добити множењем страна нестрогих неједначина система са ненегативним бројевима и сабирањем страна. Следећа теорема тврди да ово важи за све импликанте било које елиминанте.

Теорема 1. Свака строга импликанта било које елиминанте добија се множењем страна неједнакости полазног система са ненегативним бројевима и сабирањем тако добијених страна, при чему је збир мултипликатора који одговарају строгим неједнакостима позитиван. Свака нестрога импликанта добија се множењем страна нестрогих неједнакости полазног система са ненегативним бројевима и сабирањем добијених страна.

Доказ. Применимо индукцију по редоследу елиминанте. За импликанте прве елиминанте тврдјење је тачно. Претпоставимо да је тврдјење тачно за све импликанте неке елиминанте и докажимо да је тачно за импликанте добијене елиминацијом неке променљиве из те елиминанте. Нека је полазни систем облика (S) и нека је елиминацијама променљивих добијена елиминанта која по индуктивној хипотези има облик

$$(\lambda_{11}a_1 + \dots + \lambda_{1k}a_k + \mu_{11}b_1 + \dots + \mu_{1l}b_l)x > \alpha'_1$$

...

$$(\lambda_{p1}a_1 + \dots + \lambda_{pk}a_k + \mu_{p1}b_1 + \dots + \mu_{pl}b_l)x > \alpha'_p \quad \Pi$$

$$(v_{11}b_1 + \dots + v_{1l}b_l)x \geq \beta'_1$$

...

$$(v_{q1}b_1 + \dots + v_{ql}b_l)x \geq \beta'_q$$

ри чему је

$$\lambda_{ui} \geq 0, u = 1, 2, \dots, p, i = 1, 2, \dots, k$$

$$\mu_{uj} \geq 0, u = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, l$$

$$v_{\alpha\beta} \geq 0, \alpha = 1, 2, \dots, q, \beta = 1, 2, \dots, l$$

$$\lambda_{u1} + \lambda_{u2} + \dots + \lambda_{uk} > 0, u = 1, 2, \dots, p$$

$$\alpha'_\pi = \lambda_{\pi 1}\alpha_1 + \dots + \lambda_{\pi k}\alpha_k + \mu_{\pi 1}\beta_1 + \dots + \mu_{\pi l}\beta_l, \quad \pi = 1, \dots, p$$

$$\beta'_\tau = v_{\tau 1}\beta_1 + \dots + v_{\tau l}\beta_l, \quad \tau = 1, \dots, q$$

Свака строга импликанта добијена елиминацијом неке променљиве из ове елиминанте има облик

$$\begin{aligned} & s_1(\lambda_{11}a_1 + \dots + \lambda_{1k}a_k + \mu_{11}b_1 + \dots + \mu_{1l}b_l)x + \dots \\ & + s_p(\lambda_{p1}a_1 + \dots + \lambda_{pk}a_k + \mu_{p1}b_1 + \dots + \mu_{pl}b_l)x + \\ & t_1(v_{11}b_1 + \dots + v_{1l}b_l)x + \dots \\ & + t_q(v_{q1}b_1 + \dots + v_{ql}b_l)x > \alpha'' \end{aligned}$$

односно

$$(s_1\lambda_{11} + \dots + s_p\lambda_{p1})a_1x + \dots$$

$$+ (s_1\lambda_{1k} + \dots + s_p\lambda_{pk})a_kx +$$

$$(s_1\mu_{11} + \dots + s_p\mu_{p1} + t_1v_{11} + \dots + t_qv_{q1})b_1x + \dots$$

$$+ (s_p\mu_{p1} + \dots + s_p\mu_{pl} + t_1v_{1l} + \dots + t_qv_{ql})b_lx$$

$$> \alpha''$$

са $s_1, \dots, s_p \geq 0, s_1 + \dots + s_p > 0, t_1, \dots, t_q \geq 0$,

$$\alpha'' = s_1\alpha'_1 + \dots + s_p\alpha'_p + t_1\beta'_1 + \dots + t_q\beta'_q.$$

Како је

$$\sum_{i=1}^k (s_1\lambda_{1i} + \dots + s_p\lambda_{pi}) = \sum_{j=1}^p s_j(\lambda_{j1} + \dots + \lambda_{jk}) > 0,$$

први део тврдјења је доказан.

Део тврдјења за нестроге импликанте је тривијалан.

5. KUHN-ОВА ТЕОРЕМА АЛТЕРНАТИВЕ

Из анализе методе следи да систем линеарних неједначина (S) нема ни једно решење ако и само ако је нека његова импликанта немогућа. Како свака строга немогућа импликанта има облик

$$0 \cdot x_1 + \dots + 0 \cdot x_n > \alpha, \alpha \geq 0$$

а нестрога

$$0 \cdot x_1 + \dots + 0 \cdot x_n \geq \beta, \beta > 0,$$

користећи теорему 1, закључујемо да важи:

Теорема 2

Ако систем (S) нема ни једно решење, онда постоје ненегативни бројеви

$$\lambda_1, \dots, \lambda_k, \mu_1, \dots, \mu_l$$

такви да је

$$\lambda_1 a_1 + \dots + \lambda_k a_k + \mu_1 b_1 + \dots + \mu_l b_l = 0$$

и задовољен је бар један од услова

$$\lambda_1 + \dots + \lambda_k > 0 \quad i$$

$$\lambda_1 \alpha_1 + \dots + \lambda_k \alpha_k + \mu_1 \beta_1 + \dots + \mu_l \beta_l \geq 0$$

или

$$\lambda_1 = \dots = \lambda_k = 0 \quad i \quad \mu_1 \beta_1 + \dots + \mu_l \beta_l > 0.$$

Тривијално је доказати да обрнуто тврдјење такође важи.

Оба тврдјења заједно позната су као **Kuhn-ова теорема алтернативе**. Ова теорема алтернативе је једна од најопштијих. Из ње се тривијално изводе друге важне теореме алтернативе нпр. Farkas-ева и Motzkin-ова.

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је детаљно разрађена метода елиминације за решавање мешовитог система линеарних неједначина. Дата је карактеризација неједнакости добијених елиминацијама. Последња је кратак и елегантан доказ једне од најопштијих теорема алтернативе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Liepins, G.E., "Fourier-Motzkin elimination for mixed systems", Oak Ridge National Laboratory TM-8659, Springfield (1983), National Technical Information Service U.S. Department of Commerce.
- [2] Fourier, J.B.J., Second extract. P. Gauthiers-Villards (ed.) Oeuvres, G. Darboux, pp. 325-328. Paris (1890).
- [3] Motzkin, T.S., "Beitrage zur Theorie der linearen Ungleichungen", PhD Thesis, University of Zurich (1936).
- [4] Kuhn, H.W., "Solvability and Consistency for Linear Equations and Inequalities", The American Mathematical Monthly 63(4), 1956, 217-232.



СТРАТЕШКО УПРАВЉАЊЕ ШУМСКИМ БОГАТСТВОМ ПРИМЕНОМ МАТЕМАТИЧКОГ ПРОГРАМИРАЊА

MATHEMATICAL PROGRAMMING FOR STRATEGIC FOREST MANAGEMENT

ЈАЊА МИТИЋ, БИСЕРА АНДРИЋ ГУШАВАЦ, МИЛЕНА ПОПОВИЋ, АНА НИКОЛИЋ
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука; milena.popovic@fon.bg.ac.rs

Резиме: Шумско богатство је веома значајно за привредни и економски развој сваке земље. У овом раду разматран је проблем стратешког управљања шумским ресурсима којим се може управљати коришћењем великог броја развијених модела. Циљ рада је приказ линеарног модела за регулацију тока потрошње ограничених шумских ресурса, а решење модела се може користити као основа за дефинисање адекватне стратегије управљања шумама. У раду је приказан и нумерички пример како би се илустровало решавање реалних проблема.

Кључне речи: шумско богатство, стратешко управљање шумама, заштита шумских екосистема.

Abstract: Forest resources are very important for the economic development of each country. In this paper, the problem of strategic forest management is considered. Great number of developed models can be used for solving this problem. The aim of the paper is to present the linear model for the usage regulation of limited forest resources. The solution of the model can be used as a basis for adequate strategy of forest management definition. A numerical example is given to illustrate its application to solving the real problems.

Keywords: forest resources, strategic forest management, forest ecosystems protection.

1. УВОД

Шумски ресурси су опште добро и заједничко богатство. Њихово коришћење, привредна примена и економско вредновање треба да буду плански усмерени и наменски контролисани јер они обезбеђују биолошке предуслове здраве животне средине.

С обзиром на значај управљања шумским ресурсима, у литератури се може наћи велики број модела за стратешко управљање. Циљ овог рада је преглед и примена модела за стратешко управљање шумама који омогућавају регулацију тока потрошње ограничених ресурса и пружају адекватну стратегију управљања шумама.

2. ЗНАЧАЈ, ЗАШТИТА И ПРОБЛЕМ ЗАГАЂЕЊА ШУМСКИХ ЕКОСИСТЕМА

Шуме представљају значајан еколошки, привредни и социјални потенцијал сваке земље. Истовремено, с обзиром да шуме врше апсорпцију загађујућих материја из ваздуха, повећање пошумљености може обезбедити значајно смањење концентрација штетних гасова. Законом је дефинисано да су шуме добро од општег интереса које се мора користити на одржив начин тако да се очува и повећа њихова вредност и корисност, обезбеди трајност и заштита, и врши стално повећавање прираста и приноса.

Повећање површина под шумама има непроцењив значај за очување животне средине, што значи да квалитет животне средине зависи од степена шумовитости. Шуме су фактор стабилности климатских елемената и појава, са великим утицајем на стабилност свих екосистема и утичу на [5]:

- пречишћавање ваздуха од прашине и других честица које доспевају у атмосферу,
- количину и распоред падавина,
- површинско, подповршинско и поцемно отицање,
- формирање изворишта,
- квалитет и количину воде.

Шуме имају хидролошку и водозаштитну улогу као и значајну улогу у спречавању поплава, а побољшавају и хранљивост земљишта и повећавају њену плодност. Њихова заштитна функција огледа се и кроз спречавање ерозија и клизишта. Оне су чувари биодиверзитета и генофонда од чијег опстанка зависе бројне врсте биљака, гљива и животиња. У шумама Србије живи око 80% нашег биодиверзитета.

Свака људска делатност утиче на животну средину и здравље, што указује на све већу међузависност привреде и квалитета животне средине. Људске активности у сектору шумарства, као што су одрживо управљање шумама, пошумљавање и обнова шума могу

имати значајног утицаја на смањење укупних концентрација гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери. У зависности од врсте активности начин управљања шумама може значајно допринети борби против климатских промена.

Један од највећих извора загађења животне средине представљају издувни гасови из индустрије и аутомобила који настају употребом фосилних горива. Биомаса из шумарства представља обновљиви извор енергије који се може користити као замена за фосилна горива у производњи топлотне и електричне енергије. За разлику од фосилних горива сагоревањем биомасе се не повећава количина угљендиоксида и других штетних гасова у атмосфери, што има позитиван утицај на животну средину.

Чистоћа воде, ваздуха, тла је жртвовање зарад нових штетних технологија у индустрији која доноси профит. Управо крчењем шума, а посебно оних тропских, човек је изазвао огромне, штетне и далекосежне последице, које озбиљно угрожавају сав живи свет на Земљи.

2.1. Утицај човека на шумске екосистеме

Однос човека, друштва и државе према шуми првенствено је условљен њеним природним законитостима: велики и отворен простор, дуго трајање производног процеса и обновљивост. Управо те карактеристике шуме указују на потребу и могућност одрживог коришћења, трајног постојања и релативно успореног унапређивања. Потребно је уложити напоре у спречавању доношења и спровођења штетних одлука других сектора (привреда, саобраћај, туризам и остали) које могу довести до деградације шума. Ово је могуће урадити уз помоћ механизма процене утицаја на животну средину и унапређење међусекторске сарадње у решавању оваквих конфликта. Најчешћи узроци који се доводе у везу са појавом проблема везаних за шуме су:

- недовољна шумовитост,
- бесправна сеча, претварање шума и шумског земљишта у друге намене,
- процес глобалног сушења шума,
- неадекватно управљање шумама,
- притисак других сектора на шумски простор,
- пожари и друге елементарне непогоде.

Посебно је потребно обратити пажњу на пожаре на отвореном простору, који су изузетно опасни за животну средину, посебно на шумским комплексима. Шумски пожари су глобални светски проблем, узрокују уништавање читавих екосистема и наносе непроцењиве еколошке штете.

2.2. Стање шумских ресурса у Србији

У Србији је присутан недовољан степен шумовитости у односу на вишефункционално коришћење шума и употребу обезбеђивања што потпуније заштите животне средине и њених квалитета.

Глобални ефекти садашњег стања шума и недовољне шумовитости на нивоу Републике Србије представљају један од значајних лимитирајућих фактора квалитета животне средине. Поред глобалног и трајног поремећаја биолошке стабилности шумских екосистема, сва присутна оштећења неминовно узрокују:

- смањење прираста и производне снаге шума;
- прерану сечу;
- губитак способности за производњу и коришћење овог ресурса.

Узроци проблема су и нерационално коришћење и прекомерна експлоатација шума, прекомерно коришћење дрвета за огрев, неадекватан мониторинг над шумама, крчење шума за потребе других сектора: пољопривреде, индустрије, инфраструктуре, урбанизације и сл.

3. МОДЕЛИ ЗА СТРАТЕШКО УПРАВЉАЊЕ ШУМАМА

У шумарству, термин “стратешки” се често користи као синоним за дугорочно планирање и моделирање, иако ни стратегије ни стратешко планирање нису увек дугорочне. Термин стратешко управљање шумама се углавном односи на математичке моделе које углавном користе правна лица и владине агенције које управљају шумским поседима. Стратегију дефинише сам менаџмент и она не представља резултат математичког програмирања, међутим сами модели могу да буду од велике користи приликом анализе последица стратегије [4].

Модел стратешког управљања шумама су фокусирани на интеракцију између одлука везаних за управљање шумама (сеча и гајење шума) и проблемима који се односе на одрживост и економски приход од шума. Дугорочно снабдевање производима од дрвета је често био примарни фокус истраживања. Данас је неопходно управљати шумама у складу са принципима одрживог развоја са нагласком на управљање екосистемима и смањеним акцентом на само дрво.

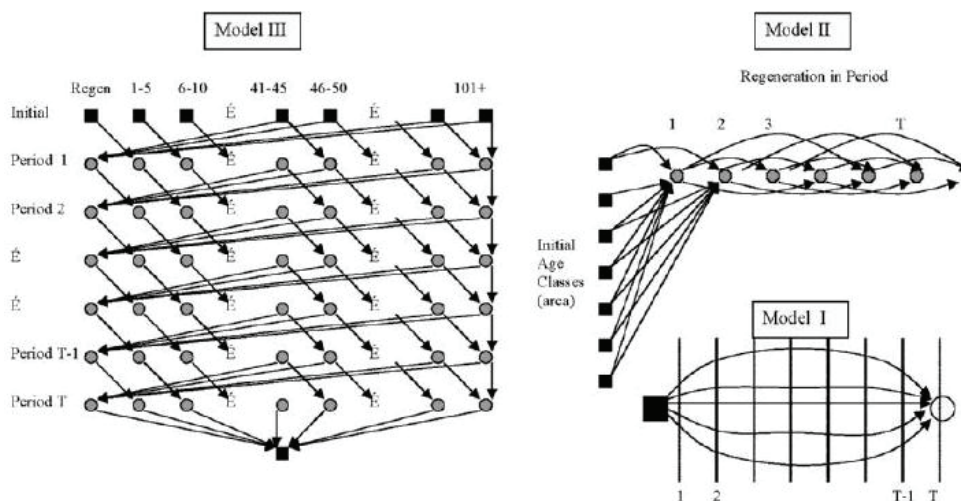
Стратешки модели имају тенденцију да угрозе економско окружење и производну способност земљишта које се налазе ван утицаја одлука које се тичу управљања шумама [2]. Акцент до сада примењиваних модела је био на динамици раста шуме и на екологији. Са економског аспекта управљања шумама мањи акценат је био на управљању, него на вредности земљишта и потражњи за производима од дрвета [3]. Ограниченост ресурса доводи до тога да се ставови о еколошкој одрживости мењају, јер људи постају свесни важности ових ресурса којих је све мање. Очигледно је да ће се у еколошком смислу више пажње обраћати на оно што је стварно дозвољено приликом управљања шумским богатством, што може да представља велики економски проблем.

4. МОДЕЛИ ЛИНЕАРНОГ ПРОГРАМИРАЊА ЗА УПРАВЉАЊЕ ШУМСКИМ РЕСУРСИМА

Линеарно програмирање даје велики допринос у анализи стратешких одлука везаних за шумарство. Интересантна три модела линеарног програмирања која се користе за стратешко управљање шумским богатством дата су у [2]. Код ових модела управља се активностима, као што су сеча, проређивање, накнадна обрада и слично у циљу регулације потрошње ограничених шумских ресурса и опстанка свих врста шумских производа (слика 1). Сва три модела су формулисана само за један шумски режим, односно за случај да се сеча шума обавља само у одређеном тренутку. Одабир модела који ће се применити зависи од карактеристика самог проблема. Модел I и II детаљно су објашњени у [1].

У Моделу I је лако моделовати различите врсте режима управљања. Један лук може представљати неку од активности: регенерација, проређивање, сеча и накнадна обрада. Свака од ових активности управљања представља се уз помоћ само једног лука (слика 1 - Модел I).

У Моделу III сво земљиште које је исте старосне класе је обухваћено једном класом. У одређеном периоду врши се сеча одређене старосне класе, а ако до сече не дође, то аутоматски значи да земљиште постаје старије за једну старосну класу. Модел II подразумева сличну агрегацију свог земљишта, али је мрежа мање детаљна. Лукови (i, j) мреже одговарају настајању стабала у одређеном периоду i , а регенерација се врши у каснијем периоду j . Лук мреже модела II одговара путањи између два чвора регенерације модела III или путањи из једног чвора настајања (иницијализације) до чвора где се врши регенерација. Модел I може да се примени или на агрегирана стабла у неку класу или на појединачна стабла (без агрегације). Ако је агрегирано, онда се стабла исте старосне класе агрегирају у исти чвор. Сваки лук модела I одговара путањи одговарајућег чвора у мрежи модела II или модела III. Са ове тачке гледишта, мреже сва три модела су еквивалентне. У пракси, лукови модела II не одговарају баш свакој могућој путањи модела III и лукови модела I представљају само мали део свих могућих путања.



Слика 1: Модели за управљање шумским богатством [2]

4.1. Општи модел

Модел I управљања шумским богатством има следећу структуру [2]:

$$\max f(x) = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{P_i} c_{ik} x_{ik} \quad (1)$$

р.о:

$$\sum_{k=1}^{P_i} x_{ik} = A_i, \quad i = \overline{1, I} \quad (2)$$

где је:

c_{ik} – добит од примене k -те активности на i -ту област;
 x_{ik} – број хектара i -те области на коју се примењује k -та активности;

A_i - укупна површина i -те области;

I - скуп области (област представља одређени део шуме изражен у ha);

K - скуп активности (активност се односи на одређену акцију која се извршава у конкретној области)

P_i - број активности које се примењују на i -ту област.

Ова формулација модела I, са веома једноставним ограничењима, може да се замени са структуром модела II или модела III са мањим број променљивих, али са доста компликованијим и бројчано већим ограничењима.

Како би се осигурала одређена врста регуларности тока сече шума, потребно је увести ограничења везана за начин сечења шума. Сходно томе, следеће једначине описују количину шумских производа која је произведена:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{P_i} h_{iklrt} x_{ik} = H_{lrt} \quad l = \overline{1, L}; r = \overline{1, R_l}; t = \overline{1, T} \quad (3)$$

где је h_{iklrt} запремина стабала типа l , узгојена у региону r , у периоду t под условом да се активност k примењује на област i . L представља број врсте шумских производа, а R_l број региона у којима постоји l -ти тип дрвећа. T је број временских периода који се разматрају у моделу.

Постоје различита ограничења везана за начин сечења шума, а која се могу увести у математички модел:

$$H_{lrt} = H_{lr(t-1)} \quad l = \overline{1, L}; r = \overline{1, R_l}; t = \overline{2, T} \quad (3a)$$

$$H_{lrt} > H_{lr(t-1)} \quad l = \overline{1, L}; r = \overline{1, R_l}; t = \overline{2, T} \quad (3b)$$

$$\alpha H_{lr(t-1)} \geq H_{lrt} \geq \beta H_{lr(t-1)} \quad l = \overline{1, L}; r = \overline{1, R_l}; t = \overline{2, T} \quad (3c)$$

Ограничења типа (3a) и (3b) се односе на ниво тока и неоппадајући принос, респективно. Ограничење (3c) генерализују претходна два са $\alpha > 1$ и $\beta < 1$. Избори, који се односе на величину региона дрвећа и количину врсте дрвећа која се моделирају, представљају део стратешке одлуке.

5. ИЛУСТРАТИВНИ ПРИМЕР

Модел I стратешког управљања шумама је тестиран на илустративном примеру. У питању је предузеће за управљање шумама које се бави сечом дрвећа, која се користи за даљу прераду, као и пречишћавањем шума од застарелог дрвећа (у циљу побољшања услова за шумски свет и развој осталог дрвећа). Дати модел проблема стратешког управљања шумама на хипотетичким подацима решен је помоћу програма *GLPK-GNU Linear Programming Kit*. Програмски језик који је коришћен при решавању овог математичког модела је *GMPL – GNU Mathematical Programming Language*.

Математички модел модела I записан у *GMPL* има следећи изглед:

```
set I;           # skup oblasti
set K;           # skup aktivnosti
set P{I} within K; # broj aktivnosti koje se primenjuju
na oblast i
```

```
param A {I};    # ukupan broj hektara oblasti I
param c {I, K}; # dobit prilikom primene aktivnosti k
na oblast i
```

```
var x {I,K} >= 0; # broj hektara oblasti i na koju se
primenjuje aktivnost k
```

```
maximize f:
    sum {i in I, k in P[i]} c[i,k]*x[i,k];
s.t.
prvo {i in I}: sum {k in P[i]} x[i,k] <= A[i];
solve;
display x;
display f;
```

Основни модел је проширен са додатним ограничењем које омогућава да у сваком временском периоду у сваком региону постоји прописана количина сваког типа дрвећа. Акценат овог модела је на еколошком аспекту и он се огледа у томе да омогући регулацију потрошње ограничених ресурса, пружа адекватну стратегију управљања шумама и опстанак свих врста шумских производа.

Имајући у виду да шумска пространства не могу да се обнове у кратком временском периоду, неопходно је увести и ограничења која се односе на максималан број ha шума (у овом примеру области) који је могуће посећи како би се обезбедило континуирано сечење шума у овим областима.

6. ЗАКЉУЧАК

Стратешко управљање шумским просторствима које омогућава уједно и континуирану сечу шума на дужи временски период и максимизацију добити један је од основних циљева свих који се баве управљањем шумама као природним ресурсом. Основни проблем јесте пронаћи оптималану комбинацију ограничених природних ресурса, а да се притом не угрози тржиште, као ни ограничени природни ресурси.

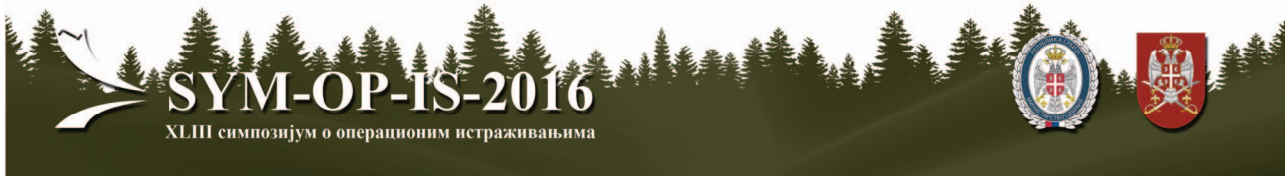
Повећање површина под шумама има непроцењив значај и важну улогу за очување животне средине, економског благостања, биолошкој разноврсности, глобалном кружењу угљеника, развоју еколошких, заштитних, туристичко-рекреационих, здравствених и културних услуга, а такође су и стуб одрживог развоја сваког друштва.

Предмет овог рада је био кратак преглед изабраних модела за планирање стратешког управљања шумама и приказ једног од њих на илустративном примеру. Може се закључити да је приликом формулације и примене модела за стратешко управљање шумама потребно посветити велику пажњу еколошким факторима, а не само финансијским. На тај начин ће се уједно и подићи свест људи о екологији јер је она незаобилазан део пословања сваког предузећа које се бави стратешким управљањем шумама.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Davis, L. S., Johnson, K. N., Bettinger, P. S., and Howard, T. E. 2001. *Forest Management*. Fourth edition. McGraw-Hill. New York. p. 804.
- [2] Gunn, E. A. (2007). Models for strategic forest management. In *Handbook of operations research in natural resources* (pp. 317-341). Springer US.
- [3] Kaya, A., Bettinger, P., Boston, K., Akbulut, R., Ucar, Z., Siry, J., ... & Cieszewski, C. (2016). Optimisation in forest management. *Current Forestry Reports*, 2(1), 1-17.
- [4] Rönnqvist, M., D'Amours, S., Weintraub, A., Jofre, A., Gunn, E., Haight, R. G., Martell, D., Murray, A.T. and Romero, C. (2015). Operations Research challenges in forestry: 33 open problems. *Annals of Operations Research*, 232(1), 11-40.
- [5] <http://www.srbijasume.rs/>

МЕКО
РАЧУНАРСТВО



PARAMETRIC ANALYSIS FOR FINDING A FUZZY SET SOLUTION TO A CLASS OF FUZZY LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS

BOGDANA STANOJEVIĆ

Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, bgdnpop@mi.sanu.ac.rs

MILAN STANOJEVIĆ

Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, milans@fon.bg.ac.rs

Abstract: *The present paper introduces a novel approach to find a fuzzy set solution to linear programming problems with fuzzy coefficients in the objective function. Recently, two non-parametric approaches that solve the same class of problems, and one parametric-analysis based approach that solves linear fractional programming problems with fuzzy coefficients in the objective function were proposed in the literature. Our approach is based on a parametric analysis, but it is not a particular case of the approach used in the fractional case. Moreover, this approach is simpler than the existing approaches for the linear case.*

Keywords: *Fuzzy optimization, linear programming, parametric analysis, bi-objective optimization, fuzzy numbers.*

1. INTRODUCTION

In the present paper the class of linear programming problems with fuzzy coefficients in the objective function (FLP) is addressed. Our goal is to derive a fuzzy set solution to such problems by a parametric analysis of the efficient solutions to a certain bi-objective linear programming problem.

Mathematical programming problems with fuzzy coefficients are widely covered in the literature [1]. The concept of fuzzy set solution to an optimization problem with fuzzy coefficients in the objective function was proposed by Chanas and Kuchta [2]. They also suggested one approach to determine the membership function of such fuzzy solution, based on computing the sum of lengths of certain intervals.

Dempe and Ruziyeva [3] introduced a methodology for realizing Chanas and Kuchta's idea, and derived explicit formulas for computing the endpoints of the suggested intervals in the particular case of linear objective function with coefficients expressed by triangular fuzzy numbers.

Later on, Stanojević [7] extended Dempe and Ruziyeva's method by handling the degeneracy of the basic feasible solutions, and rectified their formulas that construct the solution to a FLP.

Stanojević and Stanojević [8] developed a parametric analysis of the efficiency of a feasible solution to a bi-objective linear fractional program, through the parametric analysis of the optimality of the solution to a related linear program. In this way, they overcame the difficulties that arose from the exhaustive computation of the membership values used in [6] to solve FLFP.

In this paper, we propose a parametric analysis of the efficiency in a certain bi-objective linear programming problem in order to construct the fuzzy set solution to a FLP. Our approach is not a particular case of the approach that solves FLFP, since a completely different efficiency test is used; and, offering a less complex computation, it is an alternative to the approach proposed by Stanojević [7].

The remaining of the paper is organized as follows. Section 2 recalls the basic concepts related to fuzzy numbers and interval optimization. In Section 3 we describe the fuzzy linear programming problem (FLPP) and an equivalent parametric bi-objective linear program. In Section 4 we develop a parametric analysis of the Pareto optimal solutions to the bi-objective linear program with triangular fuzzy numbers as coefficients, and develop a procedure for determining the range set of any feasible solution. An example from the field of production planning is provided in Section 5 to illustrate the novel solving approach. The final conclusions are offered in Section 6.

2. PRELIMINARIES

The purpose of this section is to recall some concepts which will be needed in the sequel. We present them briefly, and refer the reader to [9] and [10] for more details.

Let R be the set of real numbers. Let $F(R)$ be the set of all fuzzy subsets of R . Every fuzzy subset \bar{Y} of R is uniquely characterized by a membership function, $\mu_{\bar{Y}}$, which associates a real number in the interval $[0,1]$ with

each point in R . The value of $\mu_{\bar{Y}}$ at x represents the grade of membership of x in \bar{Y} . For each $\alpha \in [0,1]$, $[\bar{Y}]_{\alpha} = \{x | \mu_{\bar{Y}}(x) \geq \alpha\}$ is called the α -cut of the fuzzy subset \bar{Y} .

A fuzzy subset $\bar{Y} \in F(R)$ is called fuzzy number if it satisfies the following conditions: $\mu_{\bar{Y}}$ is an upper semi continuous function, $[\bar{Y}]_{\alpha}$ is non empty for all $\alpha \in (0,1)$, $\{x | \mu_{\bar{Y}}(x) > 0\}$ is a bounded subset of R , and $\mu_{\bar{Y}}$ is a convex function. A fuzzy number $\bar{Y} \in F(R)$ is called triangular if the graph of the non-zero values of its membership function looks like a triangle. Any triangular fuzzy number can be defined as a triple (y^1, y^2, y^3) . The α -cut of the fuzzy number (y^1, y^2, y^3) is $[(y^2 - y^1)\alpha + y^1, (y^2 - y^3)\alpha + y^3]$. For two triangular fuzzy numbers $\bar{A} = (a^1, a^2, a^3)$ and $\bar{B} = (b^1, b^2, b^3)$, the addition and multiplication by a scalar $x \in R$, are defined as follows:

$$\begin{aligned} \bar{A} + \bar{B} &= (a^1 + b^1, a^2 + b^2, a^3 + b^3), \\ x\bar{A} &= (xa^1, xa^2, xa^3), \quad x \geq 0, \\ x\bar{A} &= (xa^3, xa^2, xa^1), \quad x < 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Given two intervals of real numbers $[a,b]$ and $[c,d]$, and a real scalar $x \in R$, the basic interval arithmetic operations are given below (see [5] for more details).

$$\begin{aligned} [a,b] + [c,d] &= [a+c, b+d], \\ x[a,b] &= [xa, xb], \quad x \geq 0, \\ x[a,b] &= [xb, xa], \quad x < 0. \end{aligned} \quad (2)$$

According to Chanas and Kuchta [2] an interval $[a,b]$ is smaller than an interval $[c,d]$ if and only if $a \leq c$ and $b \leq d$ with at least one strong inequality; and an interval optimization problem, $\min\{f_1(x), f_2(x) | x \in X\}$, will be equivalent to a bi-objective optimization problem

$$\begin{aligned} \min\{f_1(x), f_2(x)\} \\ \text{s.t.} \quad x \in X. \end{aligned} \quad (3)$$

The term *min* being used in Problem (3) is for finding all efficient solutions in a minimization sense, to a bi-objective programming problem, in terms of the following definition: a feasible solution $x^* \in X$ is said to be an efficient solution to (3) if and only if there is no $x \in X$ such that $f_1(x) \leq f_1(x^*)$, $f_2(x) \leq f_2(x^*)$, and at least one inequality is strict.

3. PROBLEM FORMULATION

Let us consider the linear programming problem with fuzzy coefficients in the objective function

$$\min\{\tilde{c}^T x | Ax = b, x \geq 0\}, \quad (4)$$

where \tilde{c} is a column vector of triangular fuzzy numbers representing the coefficients of the objective function, x is the vector of the decision variables, A is the $m \times n$ matrix of the constraints, and $b \in R^m$ is the right-hand side column vector of the constraints.

We aim to derive a fuzzy set solution to Problem (4), in the sense of the concept solution given by Chanas and Kuchta in [2].

4. THE NOVEL SOLVING APPROACH

Using the arithmetic of fuzzy numbers together with the arithmetic of intervals, we may replace the original Problem (4) by its parametric bi-objective equivalent optimization problem

$$\begin{aligned} \min\{((c^2 - c^1)\alpha + c^1)^T x, ((c^2 - c^3)\alpha + c^3)^T x\} \\ \text{s.t.} \quad Ax = b, x \geq 0, \end{aligned} \quad (5)$$

as done in [6] and [8] for fractional programs. The solving approach has to provide, for any basic feasible solution x^* , a range set of values of α (denoted by I_{x^*}), such that x^* is efficient solution to Problem (5).

We restrict our attention to the basic feasible solution x^* , identify one of its feasible basis B , and split the original matrix A in basic/non-basic columns (A_B, A_N) . We also split x in (x_B, x_N) , and under the assumption that the matrix A_B is invertible, we can write

$$x_B = A_B^{-1}b - A_B^{-1}A_N x_N. \quad (6)$$

We use Benson's method [4] as efficiency test applied to x^* . Hence, x^* is efficient to Problem (5) if and only if Problem (7) has an optimal objective function value of 0.

$$\begin{aligned} \max \quad d_L + d_R \\ \text{s.t.} \quad ((c^2 - c^1)\alpha + c^1)^T x - d_L = ((c^2 - c^1)\alpha + c^1)^T x^*, \\ ((c^2 - c^3)\alpha + c^3)^T x - d_R = ((c^2 - c^3)\alpha + c^3)^T x^*, \\ Ax = b, \\ x, d_L, d_R \geq 0. \end{aligned} \quad (7)$$

The variable d_L (d_R) is a deviational variable that shows whether the value of the first (second) objective function of Problem (5) is greater at x than at x^* .

We further extend the basis B to a basis B' , that is a basis to the constraint system of Problem (7). Let the basis B' consist of variables x_B, d_L, d_R . The system of constraints can be rewritten as shown below.

$$\begin{aligned} d_L &= [((c^2 - c^1)\alpha + c^1)_N - ((c^2 - c^1)\alpha + c^1)_B A_B^{-1} A_N]^T x_N, \\ d_R &= [((c^2 - c^3)\alpha + c^3)_N - ((c^2 - c^3)\alpha + c^3)_B A_B^{-1} A_N]^T x_N, \\ x_B &= A_B^{-1}b - A_B^{-1}A_N x_N, \\ x, d_L, d_R &\geq 0. \end{aligned} \quad (8)$$

The corresponding values of the basic variables in the basic solution are $x_{B^*} = (x_{B^*}^*, 0, 0) \in R^{m+2}$, thus the basic feasible solution x_{B^*} is degenerated.

In order to find the range set of values of α , such that $(x^*, 0, 0)$ is efficient solution to Problem (7), we have to consider all degenerated bases connected to the same basic solution x_{B^*} , as shown below.

Algorithm 1. Input data: the coefficients c^1, c^2, c^3, A, b of Problem (4); and x^* — a basic feasible solution to the crisp constraint system of Problem (4).

- **Step 1.** Identify the basis B of the constraint system of Problem (4) that corresponds to the basic feasible solution x^* ; and construct the basic feasible solution x to Problem (7).
 - **Step 2.** Find all simplex tableaus connected to the given basic solution x to (7). We obtain the simplex tableaus T_j for $j \in J$.
 - **Step 3.** For each simplex tableau T_j generate a set of parameters $\alpha \in [0, 1]$ for which x is optimal, by solving a system of simultaneous inequalities. We obtain the intervals $I_j \subset [0, 1]$ for $j \in J$.
 - **Step 4.** To obtain the range set I_{x^*} , join the intervals I_j , i.e. $I_{x^*} = \bigcup_{j \in J} I_j$.
 - **Step 5.** Compute $\mu(x^*)$ as the length of I_{x^*} .
- Output: $\mu(x^*)$ — the membership value of x^* .

Note that all coefficients in the set of constraints (8) are linear with respect to α , thus all components in each simplex tableau of Problem (7) are fractions of polynomials. Due to this particularity, the systems of simultaneous inequalities involved in Step 3, is reduced to a system of simultaneous linear inequalities that can be solved exactly by simple computation. The complexity of the computation needed in Step 3 of Algorithm 1 is strictly related to the characteristics of the membership functions of the fuzzy numbers that describe the coefficients of the original problem. Other special cases, than triangular fuzzy numbers, may also be addressed, with no influence on the steps of Algorithm 1, but on the systems of simultaneous inequalities.

Algorithm 1 is adapted from [8], and it is an alternative to the algorithm introduced in [7]. The parametric analysis, with respect to α , developed for Problem (7), is less demanding than the parametric analysis with respect to two parameters used in [3] and [7].

5. COMPUTATION RESULTS

In order to complete the discussion we recall the traffic problem with fuzzy coefficients from the literature. We

skip the general description given in [3], and start the computation from the particular instance given in [7]:

$$\min \{ \tilde{3}y_1 + \tilde{8}y_2 + \tilde{7}y_3 + \tilde{7}y_4 + \tilde{3}y_5 \} \quad (9)$$

subject to

$$\begin{aligned} y_1 + y_2 &= 90, \\ y_1 - y_3 - y_4 &= 0, \\ y_2 + y_3 - y_5 &= 0 \\ y_1 &\leq 90, \\ y_2 &\leq 90, \\ y_3 &\leq 60, \\ y_4 &\leq 30, \\ y_5 &\leq 90, \\ y_1, \dots, y_5 &\geq 0, \end{aligned} \quad (10)$$

where the fuzzy coefficients are described by the following triangular fuzzy numbers $\tilde{3} = (1, 3, 5)$, $\tilde{7} = (5, 7, 9)$, and $\tilde{8} = (0, 8, 16)$.

According to the upper bounding technique for solving linear programming problems, there are three basic feasible solutions to system (10): $y^1 = [30, 60, 0, 30, 60]^T$, $y^2 = [90, 0, 60, 30, 60]^T$, and $y^3 = [0, 90, 0, 0, 90]^T$. We apply the new methodology, and derive the membership value for each of them. The numerical results are presented in Tables 1, 2, and 3.

According to our theoretical results, in order to discuss the efficiency of y^1 in (9)-(10), we refer to Problem (11)

$$\begin{aligned} \max \quad & d_L + d_R \\ \text{s.t.} \quad & c_L(\alpha, y) - d_L = c_L(\alpha, y^1), \\ & c_R(\alpha, y) - d_R = c_R(\alpha, y^1), \\ & (10), \\ & d_L, d_R \geq 0, \end{aligned} \quad (11)$$

where

$$\begin{aligned} c_L(\alpha, y) &= (2\alpha + 1)y_1 + 8\alpha y_2 + (2\alpha + 5)y_3 + (2\alpha + 5)y_4 + \\ & \quad + (2\alpha + 1)y_5, \\ c_R(\alpha, y) &= (5 - 2\alpha)y_1 + (16 - 8\alpha)y_2 + (9 - 2\alpha)y_3 + \\ & \quad + (5 - 2\alpha)y_5, \\ c_L(\alpha, y^1) &= 720\alpha + 240, \\ c_R(\alpha, y^1) &= 1680 - 720\alpha. \end{aligned} \quad (12)$$

Further, the basic feasible solution to Problem (11) is $y_{B^1}^1 = [30, 60, 0, 30, 60, 0, 0]^T$. Note that the upper bounding technique for linear programming allows variables taking their upper bound values to be non-basic variables. Thus, the basic feasible solution y^1 to (10) may be described by the basic variables y_1, y_2, y_5 since they are between their upper and lower bounds. Hence, the basic feasible solution $y_{B^1}^1$ to (11) is described by the basic variables $y_1,$

y_2, y_5, d_L and d_R , and non-basic variables y_3 and y_4 that are at their upper or lower bounds.

In Table 1, all degenerated bases related to y^1 were enumerated using the indexes $\{i_1, i_2\}$ of their non-basic variables. The indexes used for d_L and d_R were 6 and 7. The non-zero components of the control rows of the simplex tableaux, $\overline{c_{i_1}}$ and $\overline{c_{i_2}}$; and the derived interval values of the parameter α were also reported.

Table 1: All degenerated bases related to the feasible basic solution $y^1 = [30, 60, 0, 30, 60]^T$

$\{i_1, i_2\}$	$\overline{c_{i_1}}$	$\overline{c_{i_2}}$	Remarks
{3,4}	4	2	$\alpha \in [0, 1]$
{3,6}	$\frac{-5.33 + 5.33\alpha}{-0.83 + \alpha}$	$\frac{-0.33}{-0.83 + \alpha}$	$\alpha \in \emptyset$
{3,7}	$\frac{-5.33 + 5.33\alpha}{-1.17 + \alpha}$	$\frac{0.33}{-1.17 + \alpha}$	$\alpha \in \emptyset$
{4,6}	$\frac{-8 + 8\alpha}{-1.5 + \alpha}$	$\frac{1}{-1.5 + \alpha}$	$\alpha \in \emptyset$
{4,7}	$\frac{-8 + 8\alpha}{-0.5 + \alpha}$	$\frac{-1}{-0.5 + \alpha}$	$\alpha \in \emptyset$
{6,7}	-1	-1	$\alpha \in \emptyset$

In Tables 2 and 3, we presented only those bases that were relevant, i.e. they either have singular matrix A_B , and reduce the number of analyzed bases; or they give non-empty interval of values for α .

Table 2: Relevant degenerated bases related to the feasible basic solution $y^2 = [90, 0, 60, 30, 60]^T$

$\{i_1, i_2\}$	$\overline{c_{i_1}}$	$\overline{c_{i_2}}$	Remarks
{2,6}	/	/	singular matrix
{9,12}	$\frac{-8 + 8\alpha}{-0.5 + \alpha}$	$\frac{-1}{-0.5 + \alpha}$	$\alpha \in [0, 0.5]$

Table 3: Relevant degenerated bases related to the feasible basic solution $y^3 = [0, 90, 0, 0, 90]^T$

$\{i_1, i_2\}$	$\overline{c_{i_1}}$	$\overline{c_{i_2}}$	Remarks
{1,7}	/	/	singular matrix
{9,12}	$\frac{-5.33 + 5.33\alpha}{-0.83 + \alpha}$	$\frac{-0.33}{-0.83 + \alpha}$	$\alpha \in [0, 0.83]$
{4,10}	/	/	singular matrix

All numerical results are in accordance with the results reported in [7].

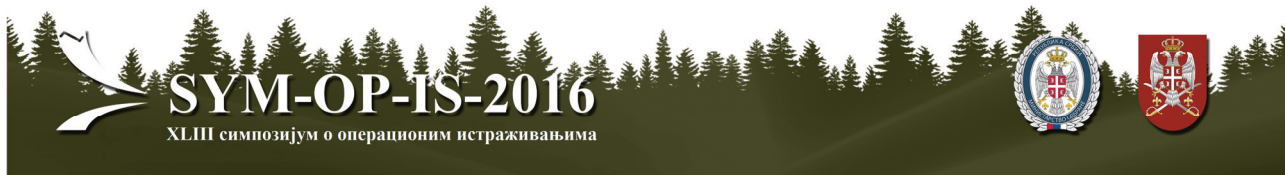
6. CONCLUSION

In this paper we developed a novel procedure for computing the values of the membership function of a fuzzy linear optimization problem with fuzzy coefficients in the objective function. First, we used the degeneration of basic feasible solutions in the general case. Then, we developed a new procedure for calculating the values of the endpoints of the intervals required in computing the membership values of the basic feasible solutions in the special case of the coefficients expressed by triangular fuzzy numbers. Assembling these intervals we obtained the values of the membership function of the fuzzy set optimal solution.

We used one instance of the traffic problem with fuzzy cost coefficients, recalled from the recent literature, to illustrate the relevance of our novel solving procedure.

REFERENCES

- [1] Cadenas, J. M., Verdegay, J. L., "Using fuzzy numbers in linear programming", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B—Cybernetics*, 27(6) (1997) 1016-1022.
- [2] Chanas, S., Kuchta, D., "Linear programming problem with fuzzy coefficients in the objective function". In M. Delgado, J. Kacprzyk, J. Verdegay, M. Vila (Eds.), *Fuzzy optimization* (pp. 148-157). Physica-Verlag, Berlin, 1994.
- [3] Dempe, S., Ruziyeva, A., "On the calculation of a membership function for the solution of a fuzzy linear optimization problem", *Fuzzy Sets and Systems*, 188 (2012) 58–67.
- [4] Ehrgott, M., *Multicriteria optimization*, Springer, Berlin, 2005.
- [5] Moore, R.E., *Interval Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1966.
- [6] Stanojević, B., Stanojević, M., "Solving Method for Linear Fractional Optimization Problem with Fuzzy Coefficients in the Objective Function", *International Journal of Computers, Communications & Control*, 8(1) (2013) 146-152.
- [7] Stanojević, B., "Extended procedure for computing the values of the membership function of a fuzzy solution to a class of fuzzy linear optimization problems", *Fuzzy Sets and Systems*, 272 (2015) 47-59.
- [8] Stanojević, B., Stanojević, M., "Parametric computation of a fuzzy set solution to a class of fuzzy linear fractional optimization problems", *Fuzzy Optimization and Decision Making* (in press)
- [9] Uhrig, R.E., Tsoukalas, L.H., *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*, John Wiley and Sons Inc., New York, 1997.
- [10] Zimmermann, H.-J., *Fuzzy Set Theory*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1996.



THE DERIVATIONS OF ARCHIMEDES' FUNCTION OF THE CYLINDRICAL-SPHERICAL HYPERINSERT

DUŠKO LETIĆ

University of Novi Sad, Technical Faculty M. Pupin, Zrenjanin, Serbia, dletic@open.telekom.rs

BRANKO DAVIDOVIĆ

Technical High School, Kragujevac, Serbia, iwtbg@beotel.net

SNEŽANA VRANJEŠ

E. Sc. Ž. Zrenjanin, Zrenjanin, Serbia, vsneza777@hotmail.com

JELENA MALETIĆ

Technical High School, Kragujevac, Serbia, iwtbg@beotel.net

Abstract: *In this paper we present the results of theoretical research of the cylindrical-spherical hyper-insert function (ΔHYS). It originated on the basis of the difference of the generalized hypercylindrical and hyperspherical functions and it represents one of the four functions that feature the extended relations of the sphere and cylinder of Archimedes' type. By introducing two dimensional degrees of freedom k and n (and the implied third one, radius r), we develop the derivation functions for all three arguments and also present the possibilities of their use.*

Keywords: *Special function, Hypersphere, Hypercylinder, The derivations of hyper-insert function.*

1. INTRODUCTION

The functions of hypersphere (HS) and hypercylinder (HY) are hypothetical functions related to the multidimensional Euclidian space and the hypersphere and hypercylinder geometry, respectively. These functions are primarily formed on the basis of the interpolating property of the gamma function. They belong to the group of special functions, so we analyze them, other than the gamma function, on the basis of related functions such as: ψ (psi), B (beta), erf (error functions) et al. The most significant value of this new function is in its generalization from discrete to continuous [1]. In addition, we can advance, from the field of natural integers, i.e. their geometrical dimensions - degrees of freedom, to the set of real and non-integer values, where we obtain the conditions for a more concise functional analysis. In this paper the analysis is concentrated on the application of the differential calculus of the HS and HY functions, given in their general form. The analytical expressions of the hypersphere and hypercylinder are familiar, and their partial as well as generalised forms are presented in [2], [3], [4] and [5]. The problem of their singular and integrated roles is nowadays much accentuated, both from the standpoint of Euclidian, and much more, Riemann's geometry. So, one can emphasize the following mathematicians which have contributed to the development of the hyperspherical and hypercylindrical function, respectively:

1. Manning [6], Dodd and Coll [7], Letić, Cakić and Davidović [8, 18], Bishop and Whitlock [9],

- Collins [10], Conway and Sloane [11], Hinton [12], Hocking and Young [13], Joshi [14], Loskot and Beaulieu [15], Rohrmann and Santos [16], Rucker [17], Sloane [19], Sommerville [20], Tu Shu-Ju and Fischbach [21], Tu and Fischbach [22], Sasaki [23], Sotoshi [24] and others (Riemann's and Poincare's sphere, multidimensional potentials, theory of fluids, nuclear physics, hyperspherical black holes, etc).
2. Sun and Bowman [25], Lee and Kim [26], Letic and Davidovic [27], and the others, and for its testing Ramanujan and Hardy [8]. Today the research of the hypercylindrical function (molecular dynamics, neural networks, hypercylindrical black holes and the like).

2. HYPERCYLINDER CIRCUMSCRIBED AROUND A HYPERSPHERE

The great Greek mathematician, physicist and engineer from Syracuse in Sicily, Archimedes, in the middle of the 3rd century BC formulated a well-known theorem on the relations of some geometrical shapes. Out of his numerous results, he was mostly proud of the quantification of the relations of the surface and volume of the sphere and the cylinder, presented in the paper with the following contents:

The volumes quotient of the right straight circular cylinder, whose height is equal to its diameter and the inscribed sphere into that

cylinder is 3:2, which is also equal to the quotient of their surfaces.

The following figure symbolises Archimedes' work on geometry, the work he considered his greatest success

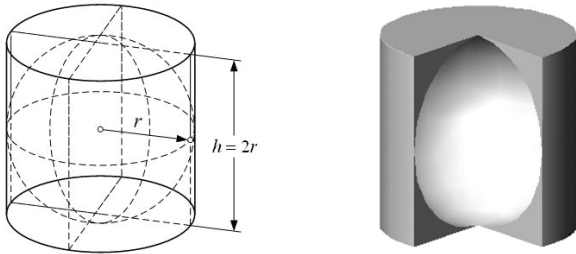


Fig. 1 The inscribed and circumscribed spheres in relation to the cylinder of the side $h = 2r$ (left). By the difference of the circumscribed cylinder (around the sphere) and the sphere, the cylindrical-spherical insert (right) follows

His papers are also dedicated to calculating the volumes and surfaces of other geometrical shapes and forms such as circle, square, right cone, cube, polyhedrons as well as the relations between them. The mathematics teachers of today rank Archimedes in the golden trefoil of the greatest mathematicians of the human civilization, along with Newton and Gauss. The relation of the two important hypergeometric objects, hypercylinder and hypersphere, are most often analyzed on the basis of real three-dimensional geometrical primitives, the cylinder and the sphere, in other words (the two-dimensional) square and circle as their projections. The analysis is focused mainly on the quantification of the relations of the inscribed hypersphere into the hypercylinder (Fig. 1) or the hypersphere around the hypercylinder. These procedures, as it is known today, belong to the so-called packaging (inserting) of hypergeometric objects [11], the theory of inserts, respectively [2]. For this inserting we use an already defined general hypercylindrical function [5, 27], in the following form

$$HY(k, n, r) = \frac{2\sqrt{\pi^{k-1}} r^{k+n-3} \Gamma(k+1)}{\Gamma(k+n-2) \Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}, \quad (1)$$

as well as the already defined general form of the hyperspherical function [1, 8]

$$HS(k, n, r) = \frac{2\sqrt{\pi^k} r^{k+n-3} \Gamma(k)}{\Gamma(k+n-2) \Gamma(k/2)}. \quad (2)$$

Here we introduce degrees of freedom k and n , as synonyms for dimensions, in order to create a necessary basis for analyzing this problem from the matrix point of view, instead of just by using the vectors, which was widely used in the former papers in this field [3, 5]. The general expression for the relative relation of the hypercylindrical and hyperspherical objects (Fig. 1) is the following:

$$\omega(k) = \frac{HY(k, n, r)}{HS(k, n, r)} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2} + 1\right)}{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}. \quad (3)$$

This expression is generalized enough for quantifying the relation of, e.g. volume or surface multi-geometrical objects of the types HY and HS . That way, using the expression $\omega(k)$ and selecting one set of integer values of the degree of freedom as $k = 0, 1, 2, \dots, 5$, we obtain the relations between hyper-volumes such as in Table 1:

Table 1: relative relation $\omega(k)$

k	0	1	2	3	4	5
$\omega(k)$	$\frac{2}{\pi}$	1	$\frac{4}{\pi}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{16}{3\pi}$	$\frac{15}{8}$

3. THE FUNCTION OF CYLINDRICAL-SPHERICAL HYPER-INSERT $\Delta HYS(k, n, r)$

Definition 1. The new function of the hyper insert is obtained on the basis of the difference of hypercylindrical and hyperspherical function in the following form:

$$\Delta HYS(k, n, r) = HY(k, n, r) - HS(k, n, r). \quad (4)$$

In this study it is the most significant function for further analysis. In view of (2.3) it follows that the described hypercylindrical function is equal to:

$$HY(k, n, r) = \omega(k) HS(k, n, r). \quad (5)$$

For a more rational definition of the ΔHYS function we have

$$\Delta HYS(k, n, r) = HS(k, n, r) (\omega(k) - 1). \quad (6)$$

The essential value of the ΔHYS function originated on the basis of the partial functions is in describing the characteristic of its cylindrical-spherical entities. Essentially, the function keeps all the distinctive features of both the HS and HY functions. Due to the interpolating characteristics of the gamma function, we shift from the field of natural values analytically to the set of real and non-integer values. That way we are able to conduct a more concise metrical and graphical interpretation. It is developed on the basis of two degrees of freedom k and n , as well as the radius r . In the field of degree of freedom (real experience) the function and its objects can be systematically represented with the following figure.

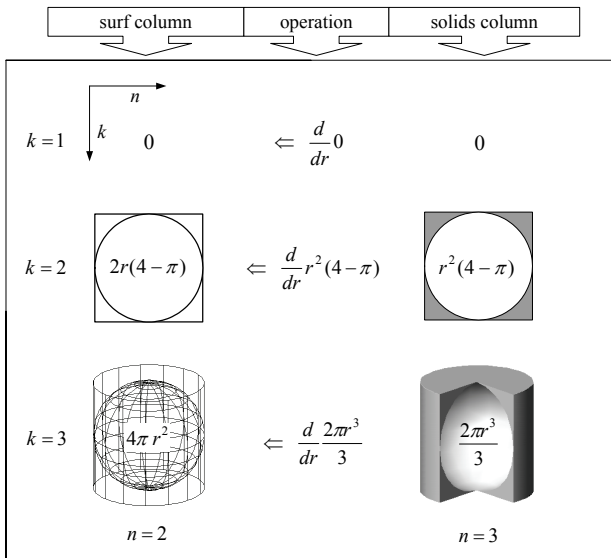


Fig. 2 The submatrix of the real primitives of cylindrical-spherical inserts

4. THE OPTIMAL VALUES OF THE DEGREE OF FREEDOM k AND THE EXTREME VALUES OF THE CONTOUR FUNCTION $\Delta HYS(k,n,1)$

Example 1. The functions $\Delta HYS(k,n,r)$ are usually analyzed as, zero, surface or volume ones. In addition, the analysis also determines its extreme values (min or max) and also the "optimal" values of the degrees of freedom: n_0 , respectively k_0 . The values of the hyper-insert, for $n=3$ and $r=1$, from the standpoint of the degree of freedom k can be graphically presented as

Consequently, it is the global optimum of the degree of freedom k , and the greatest value of the function $\max \Delta HYS(k,n,1)$ (see Fig. 4). The maximum realized with the integer dimension k is calculated for two values of the degree of freedom, one less and the other greater than the optimal (non-integer) degree k_1 . Then we have The maximum of the function in the field of natural numbers - degrees of freedom $k \in [0, \infty]$, can be also found by the derivation method.

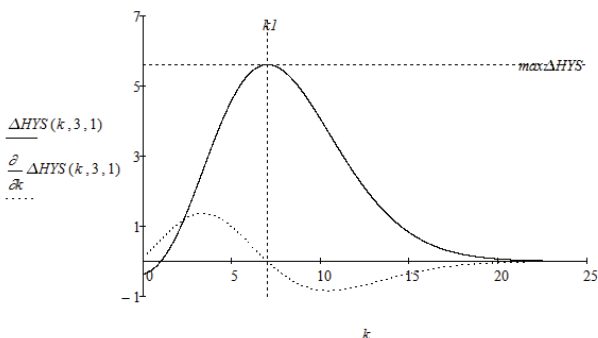


Fig. 3 The contour cylindrical-spherical function of the hyper-insert $\Delta HYS(k,3,1)$ for $k \in N$ and $r=1$

Therefore, we obtain the following:

$$\frac{\partial}{\partial k} \Delta HYS(k,3,1) = 0 \Rightarrow k_1 \approx 7.002374544.$$

$$\wedge \max \Delta HYS(k,3,1) \approx 5.610660937 \quad (7)$$

In addition, we make a calculating error of $\approx -1.46 \cdot 10^{-11}$. After this, the function mono-tonously decreases, and $\lim_{k \rightarrow \infty} \Delta HYS(k,3,1) = 0$. The global optimum

of the degree of freedom $k \approx 11.61023296$ and the maximum of the cylindrical-spherical hyper-insert function $\max \Delta HYS(k,0,1) \approx 3229.162957936$, for $k, n \in N$ and the unit radius, is graphically presented in Fig. 4, as a 3D surface function.

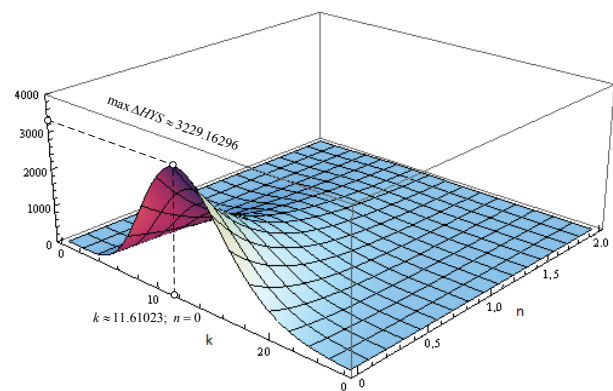


Fig. 4 The visualisation of the ΔHYS function for the chosen range of natural numbers - degrees of freedom ($0 \leq k \leq 26$; $0 \leq n \leq 4$)

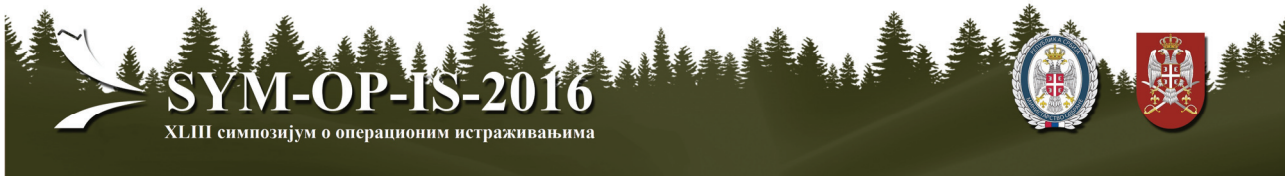
5. CONCLUSION

By researching the cylindrical-spherical hyper-insert function there are still to be solved the following extensions: continuous dimensions that include non-integer values, zeroth dimension, the field of dimensions less than zero, consequently, the field of complex degrees of freedom etc. In any case the matrix of negative dimensions takes special structuring and a deeper mathematical analysis. This shape, obtained on the basis of the difference of the hypercylinder and hypersphere, presents a significant multi-geometrical object. It is known that the sphere is the most symmetrical geometrical shape. The object that has a characteristic similar to the sphere is the cylinder (this similarity is caused by the equality of height and diameter of the cylinder). Its symmetry is double and is not unambiguous along all coordinate axes as is the case with the sphere. Other shapes also have such a characteristic, but not entirely. Namely, the cube is symmetrical on its orthogonal coordinates if its centre is in the cross-section of the diagonals, and the axes of the coordinate system parallel to cube edges. This characteristic is present on some other polyhedrons. The cube, because of its orthogonality, has kept the characteristic that its of solid

entity function derivatives create the surf-entity functions. With the objects that have the characteristic that their recurrence is created on the basis of the derivative, we have to introduce new degrees of freedom depending on complexity of that object. These characteristics are fundamental assumptions for obtaining the recurrent relations that would connect certain shapes both in columns and the series of the cube, e.g. cylinder. The considered analysis of multi-dimensional space and formulas of this geometry leads to the conclusion regarding its complexity as well as the ties with the special functions and other fields of geometry. The particular problems that were not analysed in the paper, relate to zeroes and singular values of this function. Some of them can be recognised in certain special studies [28]. The studied function is the typical function of the Archimedes' type, but in a generalised form. A special study was dedicated to it in the paper that is in the [1, 29] and it covers the analysis of 2350 pages.

References

- [1] D. Letić, N. Cakić, B. Davidović and I. Berković, *Generalisation of the Hyperspherical Function*, (Scientific Monograph), University of Novi Sad, Technical Faculty "M. Pupin" Zrenjanin, Uniiversity of Belgrade, Faculty of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia, pp. 1-126, June 2011.
- [2] N. Cakić, D. Letić and B. Davidović, *The Hyperspherical Functions of a Derivative*, Abstract and Applied Analysis, vol. 2010, 17 pages, (2010).
- [2] <http://mathworld.wolfram.com/Peg.htm>
- [3] <http://mathworld.wolfram.com/Ball.html> .
- [4] <http://mathworld.wolfram.com/Hypersphere.html> .
- [5] <http://functions.wolfram.com/Constants/Khinchin/introductions/ClassicalConstants/01/.html>.
- [6] P. H. Manning, *Geometry of Four Dimensions*, ISBN-10: 1445582910, Phillips Press, pp. 364, April 2010.
- [7] J. Dodd and V. Coll, *Generalizing the equal area zones property of the sphere*, Journal of Geometry, vol. 90, no. 1-2, pp. 47–55, 2008.
- [8] D. Letic, Ed., *Three Archimedes' Bodies*, (Scientific Monograph), University of Novi Sad, Technical faculty "M. Pupin", Zrenjanin, 2012.
- [9] M. Bishop and P. A. Whitlock, *The equation of state of hard hyperspheres in four and five dimensions*, Journal of Chemical Physics, vol. 123, no. 1, Article ID 014507, 3 pages, 2005.
- [10] G. P. Collins, *The shapes of space*, Scientific American, vol. 291, no. 1, pp. 94–103, 2004.
- [11] J. H. Conway and N. J. A. Sloane, *Sphere Packings, Lattices and Groups*, vol. 290 of Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften, Springer, New York, NY, USA, 2nd edition, 1993.
- [12] C. H. Hinton, *The Fourth Dimension*, Health Research, Pomeroy, Wash, USA, 2nd edition, 1993.
- [13] J. G. Hocking and G. S. Young, *Topology*, Dover, New York, NY, USA, 1988.
- [14] J. M. C. Joshi, *Random walk over a hypersphere*, International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, vol. 8, no. 4, pp. 683–688, 1985.
- [15] P. Loskot and N. C. Beaulieu, *On monotonicity of the hypersphere volume and area*, Journal of Geometry, vol. 87, no. 1-2, pp. 96–98, 2007.
- [16] R. D. Rohrman and A. Santos, *Structure of hard-hypersphere fluids in odd dimensions*, *Physical Review E*, vol. 76, no. 5, Article ID 051202, 2007.
- [17] R. Rucker, *The Fourth Dimension: A Guided Tour of the Higher Universes*, Houghton Mifflin, Boston, Mass, USA, 1985.
- [18] D. Letić, N. Cakić and B. Davidović, *The Relational Translators of the Hyperspherical Functional Matrix*, Advances in Difference Equations, Journal Hindawi, Volume July 2010, Article ID 973432, 11 pages, 2010.
- [19] N. J. A. Sloane, *Sequences, A072478, A072479, A072345, A072346, A087299, A087300 and A074457*, in *The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences*.
- [20] D. M. Y. Sommerville, *An Introduction to the Geometry of n Dimensions*, Dover, New York, NY, USA, 1958.
- [21] Tu Shu-Ju and Fischbach, E.: *A New Geometric Probability Technique for an N-Dimensional Sphere and its Applications to Physics*, Mathematical Physics, *arXiv: math-ph/0004021v3*, 7 May, 2001.
- [22] S.-J. Tu and E. Fischbach, *A new geometric probability technique for an N-dimensional sphere and its applications to physics*, Mathematical Physics, <http://arxiv.org/abs/math-ph/0004021v3>.
- [23] T. Sasaki, *Hyperbolic Affine Hyperspheres*, Nagoya Mathematical Journal, J.77, 107–123, 1980.
- [24] M. Satoshi, Y. Watanabe and A. K. Ohno, *Scaled Hypersphere Interpolation Technique for Efficient Construction of Multidimensional Potential Energy Surfaces*, Chemical Physics Letters Volume 414, Issues 4-6, Pages 265-270, 14 October 2005.
- [25] Q. Sun and J. M. Bowman, *Diatom-diatom reactive scattering in hypercylindrical*, International Journal of Quantum Chemistry, Volume 36 Issue S23, p: 115-126, 2009.
- [26] J. Lee and C-H. Kim, *Stationary vacuum hyper-cylindrical solution in 4+1 dimensions*, Modern Physics Letters, A22:2439-2452, 2007.
- [27] D. Letić, B. Davidović, *The Dimensional Fluxes of the Hypercylindrical Function*, Abstract and Applied Analysis, Accepted March 2011, Journal Hindawi, pages 19, 2011.
- [28] S. D. Mitrinovic, *An Introduction into Special Functions*, Scientific Book, Belgrade, Serbia, 1991.
- [29] D. Li, B. Wang, *Artificial Intelligence Applications and Innovations II*: Springer -Verlag New York Inc, pp. 882, 2005.



ANYLISIS OF IOT SECURITY ASPECTS

MARIJANA JOVANOVIĆ

Institute for mining and metallurgy, Bor, helvetius@sezampro.rs

Abstract: Modern information and communication technology, which brings new and drastic changes in all spheres of social life, is rapidly changing the way we interact with the world around us. The information and communication technology development, with digital and multimedia technologies enables new services development for data transmission and represents the strength to move towards a global information market. The expansion of the Internet of Things in recent years, led to an enormous increase in connecting Internet users, enabling a growing number of devices to communicate with the data on other machines, applications and services. Global computer networks, smart, mobile phones, social networks and Cloud Computing, create opportunities for new forms of security threats.

The aim of this paper is to highlight the problems IoT security and opportunities for mitigation and overcoming. Therefore, the steps in this direction must be taken in a timely manner, before proceeding to the further development of IoT.

Keywords: Internet of Things, IoT Security, Global computer networks, Cloud Computing, IoT standards.

1. INTRODUCTION

Increasing dependence on technology brings increased danger for those who use the technology. Building upon of the concept of Device to Device (D2D) communication technology Internet of Things (IoT), embodies the concept of the free flow of data between different devices using the Internet as the mode of intercommunication. IoT aims to provide an advanced mode of communication between different systems and devices, as well as facilitating human interaction with the virtual environment, finding application in any field.

There are more than 3 billion connected users worldwide, and in the United States there are about 200 million connected users. However, we are still at the beginning of this technological trend. Experts expect that this year will be more than 25 billion connected devices and by 2020, 50 trillion [5.].

IoT like all devices use the Internet infrastructure for the exchange of information, although with all its advantages in the field of exchange of information, the concept is full of disadvantages, from security and privacy viewpoint [7.]. The downside to connectivity [3.] is manifested in particular that 'things', such as light bulbs, doorknobs, security systems become controllable via mobile applications and tap into the home network. The increase in Internet-connected devices grant more access to personal data and home networks, where hackers can spread malware, steal credit cards and the remotely control the devices.

The subject of the work relates to consideration of: IoT, IoT security, IoT security problems and the possibility of solving them.

The paper is organized as follows:

In Chapter 2 dealt with topics related to the concept of security and dangers which are confronted with them

In Chapter 3 dealt with topics related to a reference to the lack of clarity and standards related to IoT security.

2. SECURITY AND SAFETY STANDARDS OF IoT

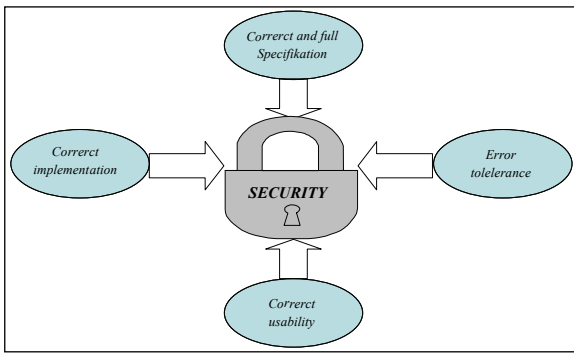
Internet of Things (IoT) refers to the ability of everyday objects to connect to the Internet and to send and receive data [5.]. There is still no widely accepted definition but what all definitions of IoT have in common is that they focus on how computers, sensors and objects interact with one another and how process data.

2.1. Security IoT devices

Rapid growth and use of connected devices, putting Internet of Things (IoT) has become a huge for cyber attacks. By the end 2015, Gartner, based on their research, predicted that will be 4.9 billion connected 'things' in existence, which is an increase of 30% over 2014. Quickly mastering every kind of information, it has become imperative but also the nightmare of modern society [6.]. According to Gartner research [6.], it is important to note that the security concern is not just limited to the devices anyone but, attention must be given to information security, information technology security, operational technology, security and physical security.

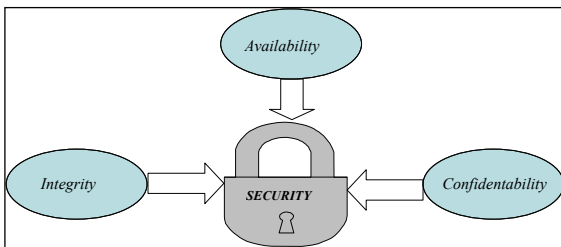
Way of life and our existence enormously depends on complex computer systems that operate within the permissible limits of accuracy, practically without human participation, and with a cursory monitoring. Computer security is achieved by the strict filling of requirement for a correct and complete specification, correct

implementation, the correct use and a huge tolerance to errors (Picture 1 [7.]).



Picture 1

Information security management [7.] is a set of interrelated activities, methods and techniques which ensure: confidentiality, availability and integrity of the information from all the dangers that threaten them. (Picture 2)



Picture 2

When studying computer as the object of attack, the area of application are information systems, used for the collection, processing and exchange of information. The danger is manifested as destruction of property, loss of data, and violation of privacy rights. Information security is achieved by the strict filling requirement for the availability of informatics resources / services (the possibility of using the system and business data only to those who lay claim to it), and integrity (system and data) and confidentiality (data and system information), as shown in Picture 2 [7.].

According to the Federal Bureau of Investigation (FBI) [3.], hackers can use the IoT devices, such as [3.] connected thermostats, lights, plugs and switches, and move laterally to access or compromise network devices, including routers, laptops, phones, tablets and hard drives, to steal personal identifiable information, identifying codes of bank accounts and credit card numbers, sending spam and malicious e - mails, running from the law with proprietary business information, interfere with business transactions and engaging in digital eavesdropping, etc.. FBI also noted that the compromise IoT devices also leads to physical damage, as is the case when the lock-on connection hacked by intruders to allow entry to homes.

FBI offers some tips [3.] on how IoT should be protected:

- * Many IoT devices come with a default password, or open Wi - Fi connections; so the password should be changed to a strong password and allow the device to operate only on a network with a secured Wi - Fi router.

- * Protect Wi - Fi networks - set up firewalls, use strong, complex passwords, and consider using Media Access Control address filtering to limit the devices able to access the network.

- * Many routers have the option to set up more than one network - separate computing devices from IoT devices and spread them throughout several different networks. That way, if cyber (cyber) criminals break into one network, the damage they do will only be limited to the devices on that one network.

- * Disable the Universal Plug and Play protocol (UPnP) on your router - UPnP can be exploited to access many IoT devices.

- * Purchase IoT devices from manufacturers with a track record of providing secure devices and set the device from automatic updates when available.

Bearing in mind the security risks, many companies who are IoT security providers are developing products and offers that can mitigate the risk and protect connected devices. One such company is Symantec, who has recently announced [6.] that is protecting more than one billion Internet of Things devices ranging from cars to televisions, smart things to infrastructure, since it is in partnership with manufacturers in the automotive, industrial control and semiconductor industries, in addition to working in healthcare and retail markets. How IoT innovation and adoption continues to grow, so does the opportunity for new cyber security risks. In the automotive industry, hackers can literally drive and 'disabling the brakes' with its keyboard, Somasundaram said Shankar, senior director of Internet of Things security, Symantec. In order to keep hackers from steering the cars, Symantec has developed an approach [6.] that is comprehensive and covers authentication, devices security, analytics and management to help devices not only to prevent the cars from becoming hacked, tracked and electronically hijack. This leading IoT security provider has approached the problem from three different aspects:

- * Device security: Protection IoT devices by locking down the software embedded in the device to protect zero day against attacks and prevent compromise.

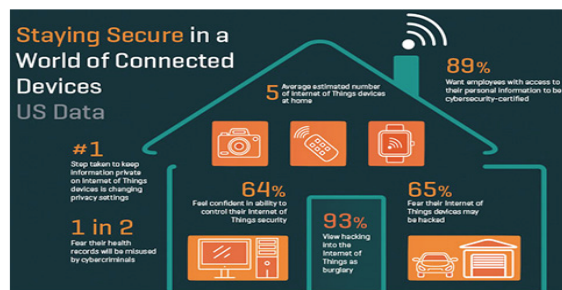
- * IoT Roots of Trust and Device Certificates: by working with some of the world's largest chip providers and cryptographic library partners - to embed of security at the hardware level to create new "Roots of Trust" so devices can safely encrypt and authenticated.

- * Code Signing Certificates and Security Application Services: by ensuring that code running on IoT devices is authorized through certificates and the cloud based signing - as - a service for a number code formats, relevant to IoT.

Symantec and the other security providers have invested heavily in solutions to protection consumers from hackers and attacks, but with predictions of reaching 25 billion connected devices by 2020, will this be enough? Undoubtedly, Internet of Things will continue to be a huge target, while security will remain at the top of the agenda. The only way to come out on top, always is to stay at least one step above of hackers.

2.2. Does the existing safety standards sufficiently engaged IoT?

Lack of clarity and standards around the Internet of Things (IoT) security is leading to a lack of confidence between the producer and the user (Picture 3 [4.]).



Picture 3

According to IT professionals in the UK, surveyed by ISACA [4.], 75% of security experts do not believe device manufacturers are implementing sufficient security measures in IoT devices, and 73% think that the existing safety standards in the industry do not sufficiently address IoT specific security concerns.

In conjunction with the statement: 56% of respondents that their organization's IT department is not aware of all of its connected devices (e.g. thermostats, televisions, fire alarms, cars, etc.), these figures indicate a significant risk. According to one estimate, the worldwide IoT is expected that to expand from 1.2 billion devices in 2015 to 5.4 billion connected devices by 2020. With the explosion in popularity and hype around the IoT, shows the producers and organizations find it difficult to keep up with the clear reality and implications for security the IoT represents. Forty-one percent of the IT professionals surveyed argued that the most significant security concerns for enterprises related to IoT, lies in vulnerabilities devices, and 64% of respondents believe that there is a good chance for companies being hacked through an IoT device with the likelihood of medium to high risk.

With 62% expecting a cyber attack in the next 12 months and only 51%, confident that they are prepared for such an event, the responses raise questions of how organizations can achieve many benefits of IoT while managing the risk, particularly since 68% of UK IT professionals claims that organizations of all sizes are equally at risk.

Recognizing that changes in a company's security architecture, is not an easy or speedy process, the advice given as the best way to protect critical data against threats is simple: Avoid storing sensitive or classified data on the device.

ISACA has advises on ways for enterprises to maintain a cyber - secure workplace:

* Safely embrace IoT devices in the workplace to keep competitive advantage;

* Ensure regular updates of all workplace devices owned by the organization, with security upgrades;
 * Require all devices be wirelessly connected through the workplace guest's network, rather than internal network;
 * Provide cyber security training for all employees to demonstrate their awareness of best practices of cyber security and the different types of cyber attacks.

The organization has also compiled a set of tips for device manufacturers to add the security to their products:

* Require all developers who build software to have appropriate performance based cyber security certification to ensure safe coding practices are being followed;
 * Insist all social media sharing be opt-in;
 * Encrypt all sensitive information, especially when connect to Bluetooth enabled devices;
 * Build IoT devices that can be automatically update with new security upgrades.

Based on the research ISACA [2.] there is great disparity between consumers and IT professionals security of IoT devices. According to new survey, 64% of consumers are confident that they can control the information access of IoT devices, but 78% of IT professionals think that security standards are insufficient. It is estimated that 30 billion connected devices will be in use by 2020 and 65% of Australian consumers are confident that they can control security IoT devices they own. However, only 19% of the Australian IT professionals think the same way.

Findings from the annual IT report conducted by ISACA, found high discrepancies between the opinions of consumers and IT professionals about the security IoT-related devices.

According to the study, increased consumer ownership of connected devices brought increased vulnerability, in Australia (63%), the UK (63%), USA (85%), Mexico (80%) and India (76%).

However, despite the vulnerability about security, survey findings indicated that respondents are confident in controlling the security of their personal IoT devices; 65% in Australia; 64% in the United States; 82% in Mexico and India and 66% in the UK. Across all countries, credit card numbers, national identification numbers, such as social security numbers, passwords and personal e-mails were among the highest concerns.

According the study, IT professionals find consumer confidence in the security of their connected devices misguided. Of those surveyed, 63% of IT professionals were not confident in controlling who should have potential access to their information collected by IoT devices at home. This is nearly the same percentage of consumers in Australia, the US and the UK who indicated high confidence in security control.

In the workplace, 63% of IT professionals reported that the IoT will result in decreased employee privacy, and

73% believe considered hacking via an IoT device to be a medium to high risk.

Data leakage is observed as the most significant enterprise security concern related to the IoT and 73% do not believe that the security standards in the IT industry sufficiently addressed concerns of IoT

Companies developing IoT products should implement reasonable security. Of course, what constitutes reasonable security for a given device will depend on a number of factors [5.], including the amount and sensitivity of data collected and the cost of remedying the security vulnerabilities. First, companies should build security into their devices at the outset, rather than as an after thought. As part of security by design process, companies should consider: (1) conducting a privacy of security risk assessment of security and privacy, (2) minimizing the data they collect and retain, (3) security measures testing, before launching their product. Second, companies should train all employees about good security and ensure that security issues are addressed at the appropriate level of responsibility within the organization. Third, companies should retain service providers that are capable of maintaining reasonable security and provide reasonable oversight. Fourth, when companies identify security risks within their system, they should implement defense-in-depth approach, in which they consider implementing of safety measures at several levels. Fifth, companies should consider implementing reasonable access control measures, to limit the ability of an unauthorized person to access a consumer's devices, data, or even the consumer's network. Finally, companies should continue to monitor products throughout the life cycle and to the extent feasible, patch-known vulnerabilities.

3. CONCLUSION

Turning around, we become aware of that we are part of the on - line company with on - line businesses, on - line public administration, in fact on - line world [7.]. Cloud Computing permeates almost every aspect of information technology.

From a security and privacy perspective, the predicted pervasive introduction of sensors and devices in everyday intimate spaces, such as homes and cars, poses particular challenges. As physical objects in our everyday lives, increasingly detect and share observation about us, so customers are increasingly looking to protect their privacy.

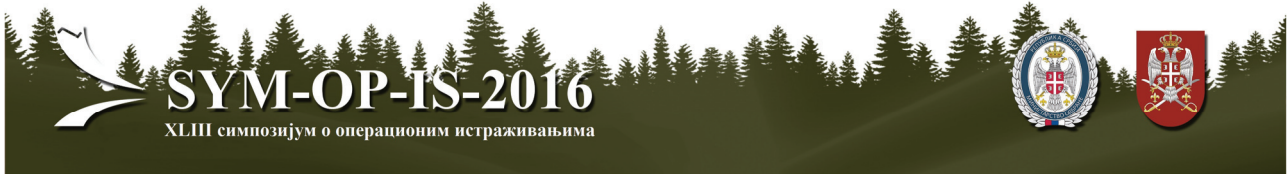
It is necessary [1.], therefore, to determine the desired level of security of the system and constantly check the current level of security, analyze it and according with that determine the appropriate security policy. Security policy should include: resolution of all the problems that concern the protection of physical access to resources, security of operating systems servers, network access

restrictions, protect of the logo and as a key factor, education of employees.

Successful fight over information security management, must take place simultaneously on several fronts: technical, organizational, legal and ethical. Noting the importance and scope of information technology becomes clear that it is necessary and state intervention that will guarantee that the use of computers to be legally based and legitimate. Therefore, it is necessary to undertake a series of preventive measures to protect the security of information. Also, as doctors take the 'Hippocratic Oath' lawyers respect to a set of ethical rules, so should all those who have to do with information - communication technologies take some kind of "NEW Hippocratic Oath", i.e. it is necessary to introduce new ethical norms (codexes), as well as sanctions for non-respect.

REFERENCES:

- [1] Prof. dr B. Radenković, S. Živadinović, FON, "Sigurnost poslovnih informacija na Internetu", *Naučno - stručni skup, Informatika 2000*, Društvo za informatiku Srbije, Beograd, 18. 05. 2000.
- [2] H. Morgan, "*Great disparity between consumers and IT professionals of security of IoT devices: ISACA*", October 15, 2015, Available at: <http://www.arnnet.com.au/author/2147748335/holly-morgan/articles>
- [3] M. Tolentino, "*FBI tips for IoT safety: National Cyber Security Awareness Month*" October 14, 2015, <http://www.siliconangle.com/blog/2015/10/14/fbi-tips-for-iot-safety-national-cyber-security-awareness-month>
- [4] Weekly newsletter: "*Existing security standards do not sufficiently address IoT*", October 14, 2015, <http://www.net-security.org/article.php?id=2382>
- [5] FTC Staff Report, "*Internet of Things: Privacy and Security in a connected world*", January 2015, <http://www.ftc.gov/sites/default/files/documents/report/federal-trade-commission-staff-report-internet-things-privacy-security-connected-world/150127/iotrpt.pdf>
- [6] M. Sukhdeo, "*Securing IoT devices*", 02 September 2015, <http://www.google.com/IoT Security>
- [7] Dr M. Kukrika, "*Upravljanje sigurnošću informacija*", INFOHome Press, Beograd, 2002.
- [8] T. Borgohain, A. Borgohain, U. Kumar, S. Sanyal, "Authentication Systems in Internet of Things", *FUEE scientific journal*, India
- [9] U. Gupta, "Application of Multi factor authentication in Internet of Things domain", *FUEE scientific journal*, India
- [10] T. Borgohain, U. Kumar, S. Sanyal, "Survey of Security and Privacy Issues of Internet of Things", *FUEE scientific journal*, India



БУЛОВСКИ КОНЗИСТЕНТНЕ ФАЗИ РЕЛАЦИЈЕ

BOOLEAN CONSISTENT FUZZY RELATIONS

ДРАГАН РАДОЈЕВИЋ

Институт Михајло Пупин, Београд, dragan.radojevic@pupin.rs

Резиме: Познато је да фази теорије (логика, скупови, релације итд.) засноване на конвенционалној фази логици нису у Буловом оквиру тј. нису Буловски конзистентне, не задовољавају искључење трећег и контрадикцију. Применом реално-вредносне реализације Булове алгебре, познате под именом Интерполативна Булова алгебра (ИБА), реализују се буловски конзистентне фази теорије, које задовољавају све аксиоме и теореме Булове алгебре као у случају класичних дво-вредносних теорија. У овом раду се илуструје реализација буловски конзистентне теорије фази релација засноване на примени ИБА-а.

Кључне речи: Фази релације, интерполативна Булова алгебра (ИБА), Булове аксиоме и теореме

Abstract: Fuzzy theories (logic, sets, relations, etc.) based on conventionally truth functionality principle, are not in Boolean frame that is they are not Boolean consistent, the principles of excluded middle and contradiction are not satisfied. By applications of real-valued realization of Boolean algebra, known as Interpolative Boolean Algebra (IBA), Boolean consistent theory are realized, which satisfied all axioms and theorems of Boolean algebra as in classical two valued realizations. In this paper Boolean consistent theory of fuzzy relations based on IBA are illustrated.

Keywords: Fuzzy relations, Interpolative Boolean algebra (IBA), Boolean axioms and theorems

1. УВОД

Фази релације играју важну улогу у фази моделовању, фази дијагностици, фази управљању итд. Области примене фази релација су психологија, медицина, економија, социологија, управљање, обрада слике итд. У овом раду се дефинишу буловски конзистентне фази релације за разлику од конвенционалних фази релација, које нису у Буловом оквиру, тј. не задовољавају сва алгебарска својства иманентна класичним релацијама, које су као што је добро познато заснована на Буловој алгебри. Уједно се проширује спектар реализација пошто се користи шири спектар оператора за моделовање интеракције него што је то случају код конвенционалних фази релација. Конвенционалне фази релације почивају на конвенционалној фази логици чији је основни принцип истинитосна функционалност – вредност сложеног израза се израчунава на основу вредности његових компоненти. Показује се да овај принцип има смисла само у класичном дво-вредносном случају. Познато је да конвенционалне фази релације за разлику од класичних не задовољавају принцип искључења трећег и контрадикције и сматра се да то тако и треба да буде. У новом приступу заснованом на реално-вредносној реализацији Булове алгебре – Интерполативној Буловој алгебри (ИБА) [2] реализована је Буловски конзистентна теорија фази релација – реално-вредносних релација, као конзистентна генерализација класичних дво-вредносних релација.

2. ФАЗИ РЕЛАЦИЈЕ

Овде се даје илустрација рада са математичким релацијама: (а) класичним, (б) конвенционалним фази и (в) Буловски конзистентним фази релацијама

2.1 Класичне релације

X, Y

$$R_A \subseteq X \times Y, \quad A \subseteq X \times Y$$

$$R_B \subseteq X \times Y, \quad B \subseteq X \times Y$$

$$R_{A \times B} = R_A \cap R_B, \quad \subseteq X \times Y$$

$$X \times Y = \{(x_1, y_1), (x_1, y_2), \dots, (x_n, y_m)\}$$

$$R_A(x, y) = \chi_A(x, y) \in \{0, 1\}$$

$$R_B(x, y) = \chi_B(x, y) \in \{0, 1\}$$

$$R_{\bar{A}}(x, y) = \bar{\chi}_A(x, y), \\ = 1 - \chi_A(x, y).$$

$$R_{\bar{B}}(x, y) = \bar{\chi}_B(x, y), \\ = 1 - \chi_B(x, y).$$

$$\begin{aligned}
R_{A \cap B}(x, y) &= \chi_A(x, y) \wedge \chi_B(x, y), \\
R_{A \cap \bar{B}}(x, y) &= \chi_A(x, y) \wedge \bar{\chi}_B(x, y), \\
R_{\bar{A} \cap B}(x, y) &= \bar{\chi}_A(x, y) \wedge \chi_B(x, y), \\
R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) &= \bar{\chi}_A(x, y) \wedge \bar{\chi}_B(x, y).
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{A \leftrightarrow B}(x, y) &= (\chi_A(x, y) \wedge \chi_B(x, y)) \vee \\
&\quad (\bar{\chi}_A(x, y) \wedge \bar{\chi}_B(x, y)), \\
R_{A \not\leftrightarrow B}(x, y) &= (\chi_A(x, y) \wedge \bar{\chi}_B(x, y)) \vee \\
&\quad (\bar{\chi}_A(x, y) \wedge \chi_B(x, y)).
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{A \cup B}(x, y) &= \chi_A(x, y) \vee \chi_B(x, y), \\
R_{A \cup \bar{B}}(x, y) &= \chi_A(x, y) \vee \bar{\chi}_B(x, y), \\
R_{\bar{A} \cup B}(x, y) &= \bar{\chi}_A(x, y) \vee \chi_B(x, y), \\
R_{\bar{A} \cup \bar{B}}(x, y) &= \bar{\chi}_A(x, y) \vee \bar{\chi}_B(x, y).
\end{aligned}$$

$$N(x, y) \equiv 0,$$

$$E(x, y) \equiv 1.$$

$$R_{A \cap \bar{A}}(x, y) = N(x, y) = 0,$$

$$R_{A \cup \bar{A}}(x, y) = E(x, y) = 1.$$

$$R_{A \cap \bar{A}} = N,$$

$$R_{A \cup \bar{A}} = E.$$

2.2 Конвенционалне фази релације

Конвенционалне фази релације засноване су на принципу истинитосне функционалности, што значи да се вредност сложеног израза израчунава директно на основу вредности компоненти. Овде се илуструју на најчешћем приступу [1] када се u операцима моделује са \min функцијом а или са \max функцијом.

$$R_A(x, y) = \mu_A(x, y) \in [0, 1]$$

$$R_B(x, y) = \mu_B(x, y) \in [0, 1]$$

$$R_{A \cap B}(x, y) = \min(\mu_A(x, y), \mu_B(x, y))$$

$$R_{A \cap \bar{B}}(x, y) = \min(\mu_A(x, y), \bar{\mu}_B(x, y))$$

$$R_{\bar{A} \cap B}(x, y) = \min(\bar{\mu}_A(x, y), \mu_B(x, y))$$

$$R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) = \min(\bar{\mu}_A(x, y), \bar{\mu}_B(x, y))$$

$$R_{A \leftrightarrow B}(x, y) = \max\left(\begin{array}{l} \min(\mu_A(x, y), \mu_B(x, y)), \\ \min(\bar{\mu}_A(x, y), \bar{\mu}_B(x, y)) \end{array}\right)$$

$$R_{A \not\leftrightarrow B}(x, y) = \max\left(\begin{array}{l} \min(\mu_A(x, y), \bar{\mu}_B(x, y)), \\ \min(\bar{\mu}_A(x, y), \mu_B(x, y)) \end{array}\right)$$

$$R_{\bar{B}}(x, y) = \bar{\mu}_B(x, y)$$

$$R_{\bar{A}}(x, y) = \bar{\mu}_A(x, y)$$

$$R_{A \cup B}(x, y) = \max(\mu_A(x, y), \mu_B(x, y))$$

$$R_{A \cup \bar{B}}(x, y) = \max(\mu_A(x, y), \bar{\mu}_B(x, y))$$

$$R_{\bar{A} \cup B}(x, y) = \max(\bar{\mu}_A(x, y), \mu_B(x, y))$$

$$R_{\bar{A} \cup \bar{B}}(x, y) = \max(\bar{\mu}_A(x, y), \bar{\mu}_B(x, y))$$

Основни недостатак овог приступа је чињеница да за разлику од класичног 0-1 случаја није у Буловом оквиру тј. не важе аксиоме контрадикције и искључења трећег:

$$R_A(x, y) \cap R_{\bar{A}}(x, y) \neq 0,$$

$$R_A(x, y) \cup R_{\bar{A}}(x, y) \neq 1.$$

$$R_A \cap R_{\bar{A}} \neq N,$$

$$R_A \cup R_{\bar{A}} \neq E.$$

2.3 Буловски конзистентне фази релације

X, Y

$$R_A \subseteq X \times Y, \quad A \subseteq X \times Y$$

$$R_B \subseteq X \times Y, \quad B \subseteq X \times Y$$

$$R_{A \times B} = R_A \cap R_B, \quad \subseteq X \times Y$$

$$X \times Y = \{(x_1, y_1), (x_1, y_2), \dots, (x_n, y_m)\}$$

$$R_A(x, y) = \mu_A(x, y) \in [0, 1]$$

$$R_B(x, y) = \mu_B(x, y) \in [0, 1]$$

Атомске релације дате су следећим изразима

$$R_{A \cap B}(x, y) = \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y),$$

$$R_{A \cap \bar{B}}(x, y) = \mu_A(x, y) - \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y),$$

$$R_{\bar{A} \cap B}(x, y) = \mu_B(x, y) - \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y),$$

$$R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) = 1 - \mu_A(x, y) - \mu_B(x, y) + \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y).$$

Где је \otimes генерализовани производ за који важи

$$\max(\mu_A + \mu_B - 1, 0) \leq \mu_A \otimes \mu_B \leq \min(\mu_A, \mu_B).$$

Сума одговарајућих елемената атомских релација је идентично једнака 1 као што је случај и са класичним дво-вредносним релацијама (где је само један елемент једнак један а остали су 0).

$$R_{A \cap B}(x, y) + R_{A \cap \bar{B}}(x, y) + R_{\bar{A} \cap B}(x, y) + R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) \equiv 1.$$

Остале фази релације у анализираном случају дате су следећим изразима:

$$\begin{aligned}
R_A(x, y) &= R_{A \cap B}(x, y) + R_{A \cap \bar{B}}(x, y) \\
&= \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y) + \mu_A(x, y) - \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y) \\
&= \mu_A(x, y)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_B(x, y) &= R_{A \cap B}(x, y) + R_{\bar{A} \cap B}(x, y) \\
&= \mu_B(x, y)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{A \Leftrightarrow B}(x, y) &= R_{A \cap B}(x, y) + R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) \\
&= 1 - \mu_A(x, y) - \mu_B(x, y) + 2\mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{A \Leftrightarrow \bar{B}}(x, y) &= R_{A \cap \bar{B}}(x, y) + R_{\bar{A} \cap B}(x, y) \\
&= \mu_A(x, y) + \mu_B(x, y) - 2\mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{\bar{B}}(x, y) &= R_{A \cap \bar{B}}(x, y) + R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) \\
&= 1 - \mu_B(x, y)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{\bar{A}}(x, y) &= R_{\bar{A} \cap B}(x, y) + R_{\bar{A} \cap \bar{B}}(x, y) \\
&= 1 - \mu_A(x, y)
\end{aligned}$$

$$R_{A \cup B}(x, y) = \mu_A(x, y) + \mu_B(x, y) - \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y)$$

$$R_{A \cup \bar{B}}(x, y) = 1 - \mu_B(y) + \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y)$$

$$R_{\bar{A} \cup B}(x, y) = 1 - \mu_A(x, y) + \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y)$$

$$R_{\bar{A} \cup \bar{B}}(x, y) = 1 - \mu_A(x, y) \otimes \mu_B(x, y)$$

За овако дефинисане фази релације важе све Булове теореме и аксиоме, па наравно и аксиоме искључења трећег и контрадикције што није био случај у конвенционалном приступу заснованом на истинитосној функционалности.

Булове аксиоме:

Асоцијативност:

$$R_{A \cap (B \cap C)} = R_{(A \cap B) \cap C},$$

$$R_{A \cup (B \cup C)} = R_{(A \cup B) \cup C}.$$

Комутативност:

$$R_{A \cap B} = R_{B \cap A},$$

$$R_{A \cup B} = R_{B \cup A}.$$

Апсорпција:

$$R_{A \cap (A \cup B)} = R_A,$$

$$R_{A \cup (A \cap B)} = R_A.$$

Дистрибутивност

$$R_{A \cap (B \cup C)} = R_{(A \cap B) \cup (A \cap C)},$$

$$R_{A \cup (B \cap C)} = R_{(A \cup B) \cap (A \cup C)}.$$

Комплементарност

(искључење трећег и контрадикција)

$$R_{A \cup \bar{A}} = E,$$

$$R_{A \cap \bar{A}} = N.$$

$$E(x, y) \equiv 1,$$

$$N(x, y) \equiv 0.$$

За разлику од конвенционалних фази релација заснованих на принципу истинитосне функционалности код којих ова аксиома не важи и као последица поменуте теорија није у Буловом оквиру, овде су задовољене све аксиоме и теореме Булове алгебре као у случају класичних дво-вредносних релација. Ова чињеница омогућује конзистентну генерализацију свих резултата заснованих на примени класичних релација.

Булове теореме:

Идемпотентност:

$$R_{A \cup A} = R_A$$

$$R_{A \cap A} = R_A$$

Ограниченост:

$$R_{A \cup 0} = R_A, \quad R_{A \cap E} = R_A;$$

$$R_{A \cup E} = E, \quad R_{A \cap N} = N.$$

0 и 1 су комплементи:

$$R_{\bar{N}} = R_E,$$

$$R_{\bar{E}} = R_N.$$

Де Морганови закони:

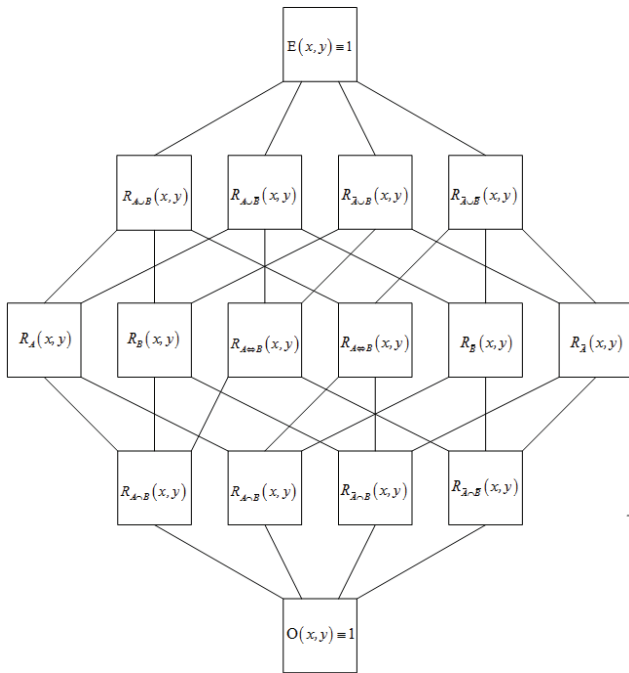
$$R_{\overline{A \cup B}} = R_{\bar{A} \cap \bar{B}},$$

$$R_{\overline{A \cap B}} = R_{\bar{A} \cup \bar{B}}.$$

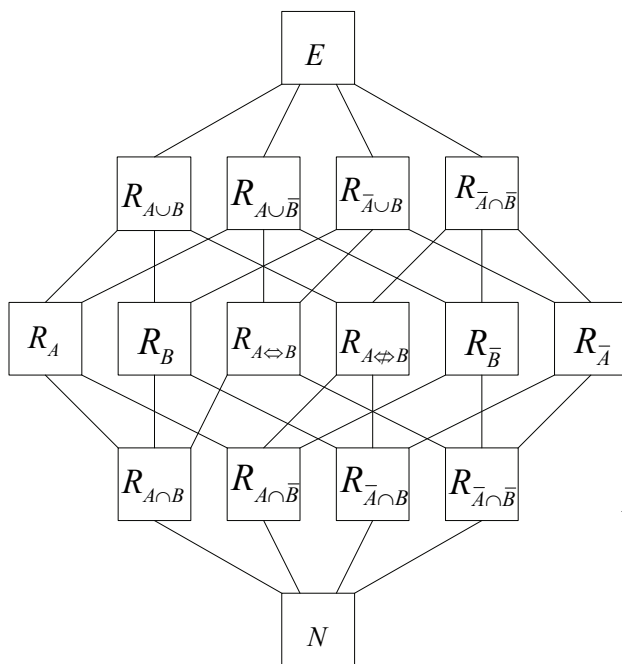
Инволутивност:

$$R_{\bar{\bar{A}}} = R_A.$$

На следећим сликама приказан је Хасеов дијаграм релација укључености елемената Булове алгебре фази релација генерисаних са две примарне фази релације $\{R_A, R_B\}$. На првој слици дат је Хасеов дијаграм за елементе фази релације понаособ а на другој за целе релације које су дате у виду матрица. Ова два Хасеова дијаграма важе у случају класичних дво-вредносних релација а не важе у случају конвенционалних фази релација, заснованих на принципу истинитосне функционалности.



Слика 1: Хасеов дијаграм елементата релација генерисаних са две релације R_A и R_B



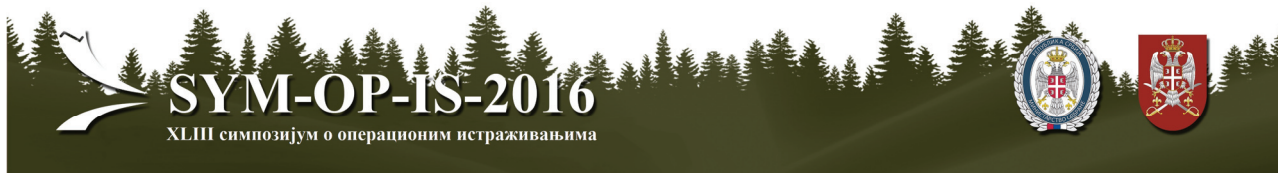
Слика 2: Хасеов дијаграм релација генерисаних са две релације R_A и R_B

5. ЗАКЉУЧАК

Фази релације представљају генерализацију класичних дво-вредносних реализација у реално-вредносне са интервала $[0, 1]$ као што и фази скупови [1] представљају генерализацију класичних скупова. Основни недостатак конвенционалних фази релација као и конвенционалних фази скупова, заснованих на принципу истинитосне функционалности, је чињеница да се не налазе у Буловом оквиру, за разлику од класичних релација и класичних скупова. Применом реално-вредносне реализације Булове алгебре познате под именом интерполативна Булова алгебра (ИБА) [2], [4] реализују се конзистентни фази скупови [3] и фази релације у Буловом оквиру што значи да су задовољене сва алгебарска својства иманентна класичним дво-вредносним реализацијама [3]. Ово је од великог значаја за третирање сложенијих релација, какве су веома честе у реалним применама а за које конвенционални приступ није адекватан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lotfi Zadeh, (1965), Fuzzy sets, *Information and Control* 8 (3) 338–353.
- [2] Radojević, D. (2000). $[0, 1]$ -valued logic: a natural generalization of Boolean logic. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 10(2), 185-216.
- [3] Radojević, D. (2008b). Real sets as consistent Boolean generalization of classical sets. *From natural language to soft computing: New paradigms in artificial intelligence*, 150-171.
- [4] Radojević, D. (2013). Real-valued realizations of Boolean algebra are a natural frame for consistent fuzzy logic. In *Studies in Fuzziness and Soft computing* (pp. 559-565). Springer Berlin Heidelberg.



ПРИМЕНА АДАПТИВНОГ НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА У ФИНАНСИЈАМА

ADAPTIVE NEURO-FUZZY INTERFACE SYSTEM APPLICATIONS IN FINANCES

НЕВЕНА ВРАНИЋ, ИВАНА ДРАГОВИЋ, АНА ПОЛЕДИЦА, АЛЕКСАНДАР РАКИЧЕВИЋ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду,
nevena.vranic@gmail.com, dragovic.ivana@fon.bg.ac.rs, poledica.ana@fon.bg.ac.rs,
aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs

Резиме: У раду приказан је преглед радова који примењују адаптивни неуро-фази систем (АНФИС) у финансијама. Неуро-фази системи представљају специфичну комбинацију вештачких неуронских мрежа и фази логике, тако што обједињују способност учења вештачких неуронских мрежа и логичку интерпретацију фази логике. У раду приказана је широка примена АНФИС-а у финансијама у претходних 15 година. Позитивни резултати добијени су за предвиђање годишње добити, тржишта акција и анализу тренда, анализу потрошачких кредита, подршка трговању на берзи, предвиђање стопе приноса, предвиђање тренда временских серија, за расподелу буџета предузећа и предвиђање промене курса.

Кључне речи: Неуро-фази систем, примена неуро-фази система, АНФИС, финансије.

Abstract: This paper presents a review of the adaptive neuro-fuzzy systems (ANFIS) in current use in finance. Neuro-fuzzy system represent specific combination of artificial neural networks and fuzzy logic, it use learning ability of artificial neural network and combine it with logical interpretation of fuzzy logic. Over the last 15 years ANFIS has been used in many financial problems. A paper reveals that ANFIS has been used successfully in prediction of annual profit, the stock market and trend analysis, analysis of credit score, support for stock trading, predicting the yield rate, time series forecasting trends for enterprise budget allocations and prediction of exchange rates.

Keywords: Neuro-fuzzy systems, neuro-fuzzy systems application, ANFIS, finance.

1. УВОД

Неуро-фази системи представљају специфичну комбинацију вештачких неуронских мрежа и фази логике чиме се обједиње способност учења вештачких неуронских мрежа и логичка интерпретација фази логике. Када се говори о неуро-фази системима, углавном се мисли на хибридне системе.

Један од најчешће коришћених хибридних неуро-фази модела је адаптивни неуро-фази систем АНФИС. Овај модел представља вишеслојну адаптивну мрежу која користи фази систем закључивања. АНФИС је примену нашао у многим областима медицине, фармације, телекомуникације, производње, економским и електронским системима, примену у обради слика и издавања карактеристика, у управљању саобраћајем, примену у финансијским предвиђањима, друштвеним и психолошким наукама.

Како је област примене веома широка, у раду је приказана примена АНФИС-а у области финансија тј. за предвиђање годишње добити, тржишта акција и анализу тренда, анализу потрошачких кредита, подршка трговању на берзи, предвиђање стопе приноса, пред-

виђање тренда временских серија, за расподелу буџета предузећа, предвиђање промене курса.

2. ПРИМЕНА АНФИСА

Области примене овог система веома су бројне од дерматолошких болести [1], преко предвиђање производње воћа [2] до његове примене у предвиђању саобраћајних гужви [3]. Свеобухватан приказ различитих могућности примене АНФИС-а скоро да не би био могућ, па ће се из тог разлога, у овом раду преглед ограничити само на област финансија.

Аутори рада [4] добили су задовољавајуће резултате коришћењем предложеног неуро-фази ситема за предвиђање годишње добити.

У раду [5] аутори су користили хибридни модел који се ослања на технике меког рачунарства за предвиђање тржишта акција и анализу тренда. Претпроцесирања података вршило се помоћу анализе главних компонента (*eng.* principal component analysis - PCA). Неуронска мрежа у овом моделу врши предвиђања за дан унапред, док је задатак неуро-фази система да врши оцену тренда предвиђених вредности, што је демонстрирано над подацима *Nasdaq-100*.

У циљу анализе потрошачких кредита аутори [6] пореде перформансе АНФИС система и других статистичких метода. Користећи тест узорака откривено је да неуро-фази систем даје много боље резултате при откривању лоших кредитних захтева у односу на многе друге статистичке методе. Такође неуро-фази систем има доста предности у односу на традиционални метод, неки од њих су: флексибилност, толерантност на непрецизност података, могућност моделовања нелинеарних функција произвољне сложености.

Аутори [7] применом АНФИС-а и неуро-фази система успешно предвиђају цена акција на америчкој берзи *U.S. Stock Exchange Trade*.

У раду [8] је представљен неуро-фази модел за краткорочно предвиђање промене курса. Модел користи временске серије података курса еуро/долар у циљу предвиђања тренда.

Успешно се предвиђа тренд кретања цена акција *IRAN KHODRO* корпорације на Техеранској берзи, коришћењем АНФИС-а [9]. За дугорочни период оптимална се показала комбинација две троугаоне функције припадности и четири улазне променљиве: обим трговања, *Dividend Per Share (DPS)*, *Price to Earning Ratio (P/E)* као и цена на затварању. За краткорочни период оптимални модел састојао се од комбинација које су биле различите за сваки квартал у току године а улази су обим трговања, *Price to Earning* рацио и цена на затварању.

Развијен је хибридни неуро-фази систем – АНФИС чији циљ је предвиђање кретања *KLCI (Kuala Lumpur Composite Index)* на дневном нивоу [10]. За анализу података изабрана су четири техничка индикатора. Резултати два одвојена експеримента показала су да значајно тачнија предвиђања добијамо коришћењем АНФИС-а у односу на предвиђања добијена вештачким неуронским мрежама.

Развијен је *Takagi–Sugeno–Kang* тип фази система заснован на фази правилима за предвиђање промена цена на Тајванској берзи [11]. Овај модел је предвиђао *TSE* индекс са тачношћу од скоро 97.6%.

Дефинисан је неуро-фази модел Мамдани типа за предвиђање сигнала „купи“ или „продај“ [12]. Улази модела су цена на затварању, цена на отварању, минимална и максимална цена, обим, покретна средина (*eng. moving averages*) и елементи техничке анализе.

У [13] аутор разматра да унапреди АНФИС како би се користио као подршка трговању. Фази резоновање у комбинацији са могућношћу неуронске мреже да препозна патерне искоришћено је за предвиђање и трговање на финансијском тржишту. Коришћен је нови модел који опажа специфичне и сезонске догађаје међу подацима и уклања све непотребне улазе. Тиме је обезбеђена већа прецизност и побољшање укупних перформанси АНФИС-а.

У раду [14] интегришу се финансијски извештаји међусобно повезаних индикатора како би се предвидела зарада по акцији (*earning per share - EPS*). АНФИС у комбинацији са стаблом одлучивања коришћен је за процес предвиђања зараде по акцији. Овај процес одвија се кроз три фазе: (1) коришћењем стабла одлучивања смањује се број атрибута; (2) фази интерфејс система (ФИС) декодира вредности, док се помоћу неуронских мрежа подешавају оптимални параметри (3) интегрисани АНФИС модел предвиђа зараду по акцији

Циљ рада [15] је предвиђање берзанског индекса комбиновањем економетријских тестова како би се оптимизовале функције АНФИС и ФИС система. На основу статистичких и економетријских тестова долази се до природе података и односа међу њима. Помоћу *Optimized subtractive data clustering* методе кластерују се подаци и креирају се фази функције припадности коришћењем фази система закључивања. За тренинг АНФИС-а користи се оптимизовани хибридни алгоритам учења, при чему се комбинује метода најмањих квадрата и *backpropagation* алгоритам.

Аутори [16] разматрају могућности предвиђања стопе приноса на Истамбулској берзи коришћењем АНФИС-а. Приликом тестирања коришћени су месечни макроекономски индикатори *DJI (Dow Jones Industrial Average)*, *DAX (Deutsche Aktien Index)*, *BOVESPA (Bolsa de Valores de São Paulo)* и приноси *ISE National 100* индекса. Показано је да тачност предвиђања расте са смањем броја улазних функција. Са друге стране, након одређене вредности грешка почиње да расте заједно са порастом сложености АНФИС-а. Са порастом броја улазних функција припадности расте и сложеност структуре тако да је за конвергенцију стопе грешке потребно више итерација и временски је захтевније.

Предложен је *WASP (Wave Analysis Stock Prediction)* систем заснован на неуро-фази архитектури који служи за предвиђање тренда цена акција [17]. Систем је заснован на АНФИС-у који користи *Elliot Wave*-ову теорију таласа. Показано је да је теорија даје веома добре резултате, посебно у случајевима предвиђања будућих трендова.

Аутори [18] у раду наводе два главна недостатка конвенционалних модела временских серија. Први недостатак је тај што користе само једну променљиву за предвиђање, а постоји велики број фактора која су проузрокована променама тржишних услова и окружења. Из тог разлога, како би се побољшала тачност модела, за предвиђање потребно је користити више променљивих. Као други недостатак наводи се да су правила добијена неуронским мрежама тешко разумљива. У циљу превазилажења ових недостатака аутори за предвиђање индекса *TAIEX (Taiwan stock exchange capitalization weighted stock index)* предлажу АНФИС модел заснован на ауторегресији и волатилности.

Развијен је адаптивни неуро-фази систем управљања који се заснива на предвиђу сутрашњег тренда цена

акција за *ASE* и *NYSE* индекс [19]. Експериментални резултати показују да се предложени систем показао добрим у симулацијама трговања а проценат успешности у предвиђању тренда цена акција је значајан.

Представљен је нови метод за предвиђање тренда временских серија који комбинује три неуронске мреже и АНФИС [20]. Предложени приступ је примењен на Техеранској берзи у два различита експеримента. И први и други експеримент су се добро показали са тачношћу од 86,35% и 94,13% респективно.

Аутори [21] указују на основне недостатке модела за предвиђање који су коришћени у прошлости. Код модела за предвиђање који су засновани на вештачкој интелигенцији (неуронске мреже и генетски алгоритми) као недостатак указују на сложена и конфузна правила. Са друге стране, модели за предвиђање засновани на статистици, као што су временске серије, недостатак је што захтевају да унапред буду испуњене одређене предпоставке везане за променљиве а математичке једначине које се добијају углавном су неразумљиве инвеститорима. Предложен је нови хибридни модел који користи техничке индикаторе као факторе који утичу на предвиђање и коришћење три нове методе за предвиђање на тржишту акција: корелациону матрицу, *subtractive clustering* методу и АНФИС.

У оквиру рада [22] описују се и користе скупови различитих архитектура АНФИС-а за предвиђање хаотичних временских серија са циљем минимизације грешке предвиђања. За сваки појединачан дан коришћен је различит АНФИС а за њихову интеграцију коришћен је просек и отежани просек. Променом типа функција припадности разматрао се њихов утицај на сложеност тренирања. Добијени су резултати са просечном тачношћу од 98%, стога се може закључити да предложени модел ефикасно предвиђа хаотичне временске серије и може се користити за доношење одлука и управљање у ризичним ситуацијама.

Са финансијском кризом расте број кредита који се не исплаћују редовно, што је ауторе навело на идеју да формирају нови модел за кредитну анализу, који користи АНФИС у комбинацији са статистичким методама [23]. Предложени модел може пружити корисне информације како за банке тако и за кориснике, посебно у случајевима када су кредитни захтеви одбијени.

Истражује се могућности *particle swarm optimization* (*PSO*) технике за одређивање вредности *subtractive clustering* параметара и АНФИС модела за предвиђање пословних неуспехана помоћу пет финансијских рача [24]. Експериментални подаци добијени су на основу 160 компанија који учествују на Тајванској берзи. Резултати су показали да је моментум метод првог реда адекватан за *online* учење (брзина учења и конвергенције је мала) и показао се добар за краткорочне предикције. Моментум метод другог реда адекватан за инкрементално учење (због његове могућности да се адаптира великим финансијским скуповима података) и одговара дугорочним предикцијама.

Аутори [25] полазе од тога да је основни циљ расподеле буџета да усмери све активности предузећа ка остваривању постављених организационих циљева. Као улази у АНФИС коришћене су пословне стратегије предузећа разматране из угла конкурентског и унутрашњег окружења, одређене од стране топ менаџмента. Добијени излаз из АНФИС-а коришћен је за иницијалну *Quality function development* – *QFD* матрицу. Помоћу *QFD* матрице врши се стратегијско планирање које је у директној вези са делом буџета који ће бити додељен појединим активностима предузећа.

Главни циљ аутора [26] у овом раду је био да створе систем за трговање на Форексу који поред историјских података тржишта користи и патерне за предвиђање и тиме симулира понашање правих тржишних трговаца. Ову идеју су спровели помоћу АНФИС-а. За подешавање функција припадности коришћена је *Quantum-behaved Particle Swarm Optimization* – *QPSO* оптимизација. Такође у раду је предложена и нова метода којом се аутоматизовано долази до патерна.

У овом раду [27] предложено је како унапредити временски променљиве ризике система за трговину, помоћу неуронских мрежа, АНФИС-а и *Dynamic Evolving Neuro Fuzzy Systems* (ДЕНФИС-а). За разлику од већине других студија које се фокусирају на предвиђања на дневном нивоу у оквиру овог рада предвиђање се врши у оквиру једног дана. Најбољи резултати добијени су комбинацијом различитих функција ризика и АНФИС система.

3. ЗАКЉУЧАК

У раду приказан је преглед различитих примена АНФИС-а у финансијама у претходних 15 година. Неуро-фази системе користимо јер нам омогућавају да на најбољи начин искористимо способности учења неуронских мрежа у циљу унапређења перформанси фази система. Такође, фази систем закључивања представљају значајан алат за моделовање заснован на теорији фази скупова.

АНФИС такође, одређује који параметри функција припадности на највише одговарају скупу улазно/излазних података којима располажемо за посматрани проблем, без неког посебног знања о систему и његовим процесима. Модел је једноставан за коришћење, што је један разлога његове честе примене. На основу приказаних радова, резултати добијени АНФИС-ом углавном су показали знатно боље у односу на податке добијене неуронским мрежама и статистичким методама.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Begić Fazlić L., Avdagić K., Omanović S., *GA-ANFIS Expert System Prototype for Prediction of Dermatological Diseases*, European Federation for Medical Informatics (EFMI), 2015.

- [2] Atsalakis G., Atsalakis I., *Fruit production forecasting by neuro-fuzzy techniques*, 113th EAAE Seminar “A resilient European food industry and food chain in a challenging world”, Chania, Crete, Greece, date as in: September 3 - 6, 2009.
- [3] Pongpaibool P., *Evaluation of road traffic congestion using fuzzy techniques*, TENCON 2007 - 2007 IEEE Region 10 Conference, 2007.
- [4] Klein, E., *Mathematical Methods in Theoretical Economics*, Academic Press, New York, 1973.
- [5] Abraham A., Nath B. and Mahanti P.K., *Hybrid Intelligent Systems for Stock Market Analysis*, Computational Science, Springer-Verlar, 2001.
- [6] Malhotra R., Malhotra D.K., *Differentiating between good credits and bad credits using neuro-fuzzy systems*, European Journal of Operational Research 136: 190-211, 2002.
- [7] Quek C., Cheng P., *predicting the impact of anticipatory action on U.S. stock market—an event study using anfis (a neural fuzzy model)*, Computational Intelligence, Volume 23, Number 2, 2007.
- [8] Atsalakis G.S., Skiadas C.H., Braimis I., *Probability of Trend Prediction of Exchange Rate by ANFIS, in Recent Advances in Stochastic Modeling and Data Analysis*, World Scientific, 414 - 422, 2007.
- [9] Abbasi E., Abouec A., *Stock Price Forecast using Neuro-Fuzzy Interface System*, World Academy of Science, Engineering and Technology 46, 320-323, 2008.
- [10] Yunos Z.M., Shamsuddin S.M., Sallehuddin R., *Data Modeling for Kuala Lumpur Composite Index with ANFIS*, Second Asia International Conference on Modeling & Simulation (AMS 2008), 2008.
- [11] Chang & Liu, 2008
- [12] Scherer R., Pokropińska A., *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 5097, 2008, pp. 1120-1126, 2008.
- [13] Kablan A., *World Academy of Science, Engineering and Technology* 58, 479-488, 2009.
- [14] Cheng C., *Forecasting electronic industry EPS using an integrated ANFIS model*, Systems, Man and Cybernetics, 2009. IEEE International Conference, 2009
- [15] Atsalakis G., Valavanis K., *Forecasting stock market short-term trends using a neuro-fuzzy based methodology*, doi:10.1016/j.eswa.2009.02.043, 2009.
- [16] Ansari T., Kumar M., Shukla A., Dhar J., Tiwari R., *Expert Systems with Applications* 37 (7), 5116-5125. 2010.
- [17] Boyacioglu M. A., Avci D., *An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange*, Expert Systems with Applications 37, 7908–7912, 2010.
- [18] Atsalakis G., Dimitrakakis E.M., Zopounidis C.D., - *Elliott Wave Theory and neuro-fuzzy systems, in stock market prediction: The WASP system*, Expert Systems with Applications: An International Journal archive, Volume 38 Issue 8, 9196-9206, 2011.
- [19] Chang J., Wei L., Cheng C., *A hybrid ANFIS model based on AR and volatility for TAIEX forecasting*, Applied Soft Computing 11 1388–1395, 2011.
- [20] Ebrahimpour R., Nikoo H., Masoudnia S., Yousefi M.R., Ghaemi M.S., *International Journal of Forecasting* 27 (3), 804-816, 2011.
- [21] Wei L., Chen T., Ho T., *A hybrid model based on adaptive-network-based fuzzy inference system to forecast Taiwan stock market*, Expert Systems with Applications 38 13625–13631, 2011.
- [22] Melin P., Soto J., Castillo O., Soria J., *A new approach for time series prediction using esembles of ANFIS models*, Expert System Applications 41(14), 6459-6466, 2012
- [23] Akkoç S., *An empirical comparison of conventional techniques, neural networks and the three stage hybrid Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) model for credit scoring analysis: The case of Turkish credit card data*, European Journal of Operational Research 222 168–178, 2012.
- [24] Chen M., *A hybrid ANFIS model for business failure prediction utilizing particle swarm optimization and subtractive clustering*, Information Sciences 220 180–195, 2013.
- [25] Kannan D., Jafarian A., Khamene L.A., Olfat H., *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68 (1-4), 849-862, 2013.
- [26] Bagheri A., Mohammadi Peyhani H., Akbari M., *Expert Systems with Applications* 41 (14), 6235–6250. 2014.
- [27] Vella V., Win Long Ng, *Enhancing risk-adjusted performance of stock market intraday trading with Neuro-Fuzzy systems*, Neurocomputing 141: 170-187, 2014.c



МАРКОВЉЕВИ ЛАНЦИ И ПРОБЛЕМ ОДРЕЂИВАЊА РАСПОРЕДА СЛОВА НА ТАСТАТУРИ СРПСКЕ ЋИРИЛИЦЕ

MARKOV CHAINS AND THE PROBLEM OF KEYBOARD LAYOUT FOR SERBIAN CYRILIC

РАЈКО М. БУКВИЋ

Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Београд, r.bukvic@mail.ru

МИРЧЕТА ВЕМИЋ

Београд, mvemic@cunet.rs

Резиме: У раду се разматрају проблеми одређивања оптималног распореда слова на тастатури, који мора бити заснован на карактеристикама и специфичностима сваког конкретног језика. Данашњи стандард за српски језик заснован је на тзв. универзалном распореду и као такав неподесан је. Емпијском анализом на примеру двају класичних романа српске књижевности, уз примену апаратуре Марковљевих ланаца, анализирани су перформансе постојеће, „српске” тастатуре, и указано је на потребу рада на новом стандарду.

Кључне речи: Тастатура, распоред слова, Марковљеви процеси, Марковљеви ланци.

Abstract: The paper considers issues related to an optimal keyboard layout which needs to be based on the characteristics and specificities of each particular language. Today's standard for Serbian language is based on the so-called universal layout and, as such, is inadequate. The performances of the today-existing "Serbian" keyboard were analyzed through an empirical analysis of two Serbian classical novels as well as the use of Markov chains apparatus, and a need for further development of a new standard was emphasized.

Keywords: Keyboard, letter layout, Markov processes, Markov chains.

1. УВОД

Распоред слова на тастатурама раније писаћих машина а данас компјутера проблем је који се у нашим актуелним условима разматра махом на алтернативним форумима или на сајтовима појединих удружења с циљевима очувања ћириличног писма. При томе, он започиње и окончава се на захтевима да се на тастатурама уместо латиничких слова нађу слова српске ћирилице. Сам распоред слова не разматра се, и тако не доводи у питање. Резултат који би се тиме добио (и који је у неким акцијама тих удружења добијен) популарно се назива – „српска тастатура”.

Такав резултат, и уопште такво резонување, нису адекватни. Како се подвлачи у [1], распоред који би се тиме озваничио као „српска тастатура” познати је универзални (QWERTY) распоред (слика 1), тачније његова немачка варијанта (QWERTZ), прилагођена Гајевој („хрватској”) латиници (са словима š, č, đ, ć), од које би се „српска тастатура” разликовала словима љ, њ и ц, смештеним на тастерима q, w и x. Осим визуелно, дакле, та се тастатура суштински не би разликовала од данас коришћених тастатура у енглеској или „хрватској” варијанти.

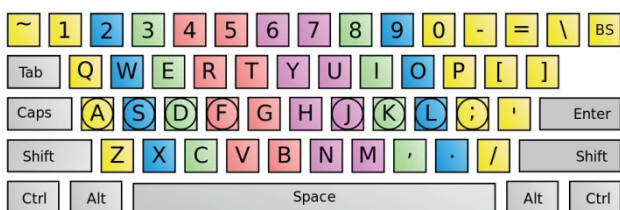
Пошто је QWERTY распоред (аналогно и QWERTZ) неадекватан не само за српски језик, односно српску ћирилицу, већ и за енглески, за који је и створен,

проблем српске тастатуре мора се сагледати у другом светлу, обухватајући већи број (група) питања. Првој од тих група – како је и зашто и код нас прихваћен универзални распоред, при томе касније него у англосаксонским и другим земљама, да ли је и зашто (ни)је разматрана примена ЂЦУКЕН распореда, сачињеног за потребе руског, дакле и осталих словенских језика – ма колико она била важна, ми се овде нећемо бавити. Пажњу ћемо усмерити на други комплекс – на стварање онога што је апострофирано као „српска тастатура”.

2. ДЕФИНИСАЊЕ ПРОБЛЕМА

Одређивање (адекватног) распореда слова има дугу, али и не баш познату историју. Први кораци, стварање универзалног распореда, довољно су осветљени, барем кључни аспект – зашто је изабран тај, по Двораци, „најгори могући” распоред. Много интригантнија су питања како је и зашто тај распоред однео превагу у „слободној тржишној утакмици” (омиљен термин економиста) над алтернативним и супериорним распоредима, утолико пре што су техничким усавршавањима врло брзо елиминисани главни проблеми (сударање суседних полуца са словима при брзом куцању), који су Шоулза, творца универзалног распореда, практично приморали да створи најгори могући стандард. И зашто каснији

покушаји да се тај распоред замени подеснијим, међу којима су најпознатија вишедеценијска настојања Дворака, нису били успешни.



Слика 1: Универзална (QWERTY) тастатура

Управо Двораково искуство, иако с једне стране неуспело, а с друге стране настало и намењено енглеском језику и алфabetу, драгоцено је и као сведочанство, али и зато што је Дворак поставио основне принципе које треба да испуњава добар распоред на тастатури [2]:

- при куцању руке треба да се смењују што чешће,
- за максималну брзину и ефикасност куцања најлакши за укуцавање треба да буду најчешће сусретани симболи (то значи да тастери с тим словима треба да буду у основном реду, где су постављени прсти, и у зони кажипрста и средњих прстију),
- аналогно, ретка слова треба да буду у нижем реду, чије тастере је најтеже притиснути,
- десна рука треба да буде више оптерећена него лева (с обзиром да су људи већином дешњаци), и
- укуцавање диграфа суседним прстима је теже него прстима који су далеко један од другог.



Слика 2: „Српска” тастатура

Из прегледа ових принципа види се да је одређивање оптималног распореда слова сложен проблем, који укључује већи број аспеката и задатака. Међу њима се издвајају како они који се односе на сам текст који треба укуцати – учестаност појављивања појединих слова појединачно и у паровима (тј. прелази из једног у друго слово), тако и они којима се решавају физиолошки и ергономски проблеми – смењивање руку при куцању, оптерећеност појединих прстију, као и десне и леве руке у целини, и др. Од уважавања ових принципа зависи распоређивање слова не само по редовима тастатуре (основни, горњи и доњи), већ и по вертикалним сегментима (различите боје на слици 1), који неједнако оптерећују поједине прсте.

3. МЕТОДОЛОШКЕ НАПОМЕНЕ

Учестаност појављивања појединих слова (гласова) прва је карактеристика текста коју треба разматрати. Она се може посматрати као учестаност у оквиру

речи, и као општа учестаност. На овом нивоу наших истраживања посматраћемо овај други случај. Пошто су, наравно, текстови неједнаке величине, потребно је учестаност изражавати релативно, тј. у процентима

$$F(Ch_i) = \frac{N_i}{N} \quad (1)$$

Други аспект, с много већим и диференциранијим утицајем односи се на прелазак из једног у друго слово (тј. из једног стања система у друго). Ови прелази изражавају се такође релативно, дакле као емпиријске вероватноће

$$p_{ij} = P(Ch_i \rightarrow Ch_j) \quad (2)$$

које у коначном резултату дају транзитивну матрицу P . Прелази из једног у друго стање система представљају у овом случају типичну реализацију Марковљевог процеса (видети, на пример, [3]), у коме тај прелаз зависи од стања у коме се систем налази, а не и од претходних стања. Другим речима, појава новог (наредног) слова у тексту зависи само од стања (слова) система у датом моменту, и изражава се одговарајућом транзитивном вероватноћом (2).

Добар (идеалан) распоред мора да уважава вредности из транзитивне матрице, у том смислу што ће обезбедити да се највеће вредности из те матрице „прелију” између места (типки) која се могу најлакше реализовати, узимајући у обзир Дворакове принципе, пре свега смењивање руку при куцању, а посебно прелазе из једног у други ред тастатуре. Комплекснија истраживања проблема показале, управо имајући у виду те принципе, да у разматрање треба узети и квадрат транзитивне матрице $P^2_{(ij)}$, дакле вероватноће прелазе у два корака. Без тога, чак и уз максимално уважавање принципа груписања најфреквентнијих слова у центру тастатуре и смењивања руку при типкању, може доћи до оптерећивања руку ако се често прелази из једног у други хоризонтални ред.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Емпиријска анализа на роману Сеобе [4], дата у [1], показала је да су далеко најзаступљенија четири вокала: а, е, и, о, што је већ било утврђено у ранијим истраживањима (према [5]). Такав налаз потврђује и анализа урађена за потребе овог рада, на роману На Дрини ћуприја [6] (табела 1). Наравно, свесни смо да су ови примери (узорци) сувише мали за конкретније закључке и да су потребна обимнија емпиријска истраживања, будући да је основни скуп практично неограничен – чини га све што је икада написано на српском језику.

Одређени ниво разлика, не само у разматраним узорцима, условљен је постојањем двају наречја, услед чега ће у једном броју текстова фреквентност слова (гласова) „и” и „ј” бити већа. Ипак, корелације између добијених резултата, као што се могло претпоставити, врло су високе (табела 2). Практично,

то би требало да значи да је основна подела слова по вертикалним сегментима у идеалном распореду у основи опредељена – централна места на тастатури (тастери „F”, „G”, „H”, „J”) требало би да припадну словима „A”, „E”, „I”, „O”. У QWERTY-ју (слика 1) њихова места су далеко од тога, и већ је то довољан разлог да констатујемо да је универзалан распоред (веома) неповољан за српски језик и српску ћирилицу.

Табела 1: Фреквенција и ранг слова

	Сеобе		На Дрини ћуприја		Ковачевић	
	F	R	F	R	F	R
А	12,08	1	12,21	1	11,61	1
О	9,78	2	9,91	3	9,59	3
Е	9,53	3	9,24	4	8,77	4
И	9,43	4	9,99	2	9,96	2
Н	4,95	5	5,51	5	5,88	5
У	4,84	6	4,44	7	4,21	9
С	4,69	7	5,01	6	5,19	6
Р	4,29	8	4,35	8	4,97	7
Д	3,93	9	3,97	9	3,95	11
К	3,90	10	3,68	12	3,35	14
Т	3,75	11	3,94	10	4,67	8
В	3,75	12	3,77	11	3,74	12
М	3,49	13	3,40	13	3,64	13
Л	3,14	14	3,07	15	3,05	15
Ј	3,06	15	3,27	14	4,17	10
П	2,92	16	2,64	16	2,90	16
Б	1,79	17	1,53	19	1,48	19
Г	1,72	18	1,91	17	1,69	18
З	1,67	19	1,69	18	1,71	17
Ш	1,55	20	1,24	20	1,15	20
Ч	1,15	21	0,95	21	0,67	23
Ћ	0,91	22	0,68	24	0,67	23
Њ	0,78	23	0,72	23	0,34	27
Х	0,74	24	0,72	22	0,68	22
Ж	0,63	25	0,56	26	0,66	25
Ц	0,58	26	0,62	25	0,72	21
Љ	0,56	27	0,54	27	0,36	26
Ђ	0,30	28	0,26	28	0,12	29
Ф	0,09	29	0,10	29	0,21	28
Џ	0,01	30	0,07	30	0,02	30

Други аспекти разматрања подесности универзалне тастатуре за српску ћирилицу дати су у [1], полазећи од емпиријских анализа на роману Сеобе, представљених транзитивном матрицом и на основу ње сачињеним илустрацијама за „српску” и тастатуру створену за потребе руског (и других словенских језика, односно језика који користе ћирилично писмо). Посебно је потцртана чињеница постојања великог броја нултих вероватноћа (неостварени прелазни) између суседних слова на „српској тастатури”. У неком идеалном распореду то би, наравно, могло бити (бар донекле) поправљено мешањем одговарајућих слова на разне делове тастатуре (принцип смењивања руку при куцању). Колико је то на постојећој тастатури случај остаје за емпиријску проверу у даљем разматрању проблема.

Табела 2: Коefицијенти корелације фреквенција и рангова слова из табеле 1

	Фреквенције		Рангови	
	2	3	2	3
1	0,997703	0,989227	0,992881	0,970319
2		0,994738		0,982822

Оно што је, међутим, већ и на основу анализе дате у наведеном раду показано, а потврђује се и на роману На Дрини ћуприја, јесу велике транзитивне вероватноће на различитим редовима тастатуре, а пре свега код слова из основног реда: с, д, ф, г, х, ј, к, л (с изузетком слова а). У целом том низу вероватноћа, заправо, налазе се такоређи саме нуле, с изузетком прелазна „са” (вероватноћа 0,149). Према Андрићевом роману, одговарајуће прелазне вероватноће основног реда дате су у табели 3. Слика је врло илустративна.

Табела 3: Суседне вероватноће прелазна у основном реду „српске тастатуре”

7,2	21,2	0,2	0,0	159,2	9,8	111,6	71,0	
а	54,1	139,2	с	0,0	13,3	д	0,0	
	1,2		0,0	1,0	0,0	0,0	26,0	
337,4	28,6	24,5	118,7	0,0	0,7	60,2	0,6	45,9
0,0	ф	0,0	0,0	г	0,0	0,0	х	0,0
2,0	0,0	14,3	1,9	0,0	20,3	0,0	22,1	17,1
0,2	110,6	112,5	72,0	77,0	372,1	316,0	158,4	0,1
0,1	ј	9,0	0,1	к	19,2	1,9	л	0,2
18,6	4,8		0,7					
58,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	
5,2	ч	0,0	0,0	ћ	0,0	0,0	ж	

Још један моменат, који у раду [1] нисмо разматрали, заслужује пажњу. Реч је о оптерећености руку и прстију, као важан критеријум који опредељује (не)адекватност распореда слова. Табела 4 даје одговарајућу анализу на текстовима двају класичних романа српске књижевности, коју су начинили аутори овог рада, и анализу коју је навео Ковачевић у [5]. Прихваћено је његово методолошко решење (накнадно додавање тачке и запете), због чега су збирови већи од 1.

Табела 4: Оптерећеност руку и прстију

Рука	Прст	Сеобе	На Дрини ћуприја	Ковачевић
Лева	Мали	12,64	12,75	11,97
	Домали	5,48	5,80	5,55
	Средњи	14,04	13,82	13,44
	Кажипрст	15,39	15,60	16,76
Свега		47,55	47,98	47,72
Десна	Кажипрст	18,74	19,03	20,29
	Средњи	16,29	15,11	14,90
	Домали	13,74	13,85	13,54
	Мали	7,45	6,35	6,17
Свега		56,22	54,34	54,90

Као што се види, разлике посматраних романа и онога што даје аутор [5] не би се могле сматрати баш занемарљивим, при чему је нарочито значајно мање оптерећење кажипрста на обема рукама у односу на

Ковачевића. Али, важније је нешто друго. Ковачевић, на име, сматра да ови резултати (последња колона у табели 4) потврђују адекватност универзалне (тј. „српске“ тастатуре), имајући у виду већу оптерећеност десне од леве руке, као и опадајућу оптерећеност прстију обе руке од кажипрста до (до)малог прста. Његово резоновање и закључивање, међутим, прилично је чудно – домали прст десне руке двоструко је оптерећенији од малог, и готово исто оптерећен као и средњи прст (у анализирајем романима та разлика је нешто мало већа). И док за први од наведених факата истиче да је мали прст ипак више оптерећен, имајући у виду да покрива више слова и да тиме прелази већи пут (што је начелно тачно, али је питање да ли је самерљиво), други факт аутор просто прећуткује. Као и чињеницу да је на левој руци мали прст готово подједнако оптерећен као и средњи прст. Пошто њему припада слово „а“, јасни су и узрок и решење наведеног проблема – као најфреквентније то слово мора се преместити у центар тастатуре.

5. ЗАКЉУЧАК

Бивша Југославија прихватила је у фебруару 1976, као чланица ИСО (ISO, International Organization for Standardization), стандард тастатура за све електричне и механичке машине за словеначко, српскохрватско, македонско и албанско језичко подручје за ћирилицу и латиницу. Тај стандард заснован је на универзалном распореду, заправо на његовој QWERTZ (немачкој) варијанти, у којој су замењена места словима Z и Y, и извршене одређене корекције (углавном на типкама специфичних карактера) које се односе на слова Ч, Ћ, Ш, Ђ и Њ, Љ и Џ.



Слика 3: Последњи модел АЕГ писаће машине из 1910. године

Историја прихватања универзалног стандарда, тј. QWERTZ варијанте у Србији (и Југославији) није до сада проучена. Ковачевић у [5] наводи да су прве (писаће) машине у Југославију дошле из Немачке (с већ извршеном корекцијом Z и Y) и да је Југославија, уз још неке земље, ту измену прихватила. Ова констатација, међутим, лако се демантује – на слици 3 приказана је тастатура последњег модела АЕГ писаће машине из 1910. године, на којој се ћирилични распоред слова значајно разликује од прихваћеног QWERTZ стандарда.

Питање како је и зашто прихваћен постојећи стандард, очигледно остаје отворено. С друге стране, отворено је и друго питање: зашто се и даље држимо тог стандарда? Утолико пре што је у међувремену нестало тзв. српскохрватско језичко заједништво, које је, ма колико лабаво, могло бити некакав алиби за чување заједничког стандарда и у овој области.

Tab	B	G	P	D	K	L	V	J	Z	Ž	H	F	
Cap Lock	N	M	E	I	R	U	A	O	T	S	Š	Đ	Enter
Shift	>	W	Q	C	Č	Ć	X	Y	:	.	-	Shift	
Ctrl	Super	Alt								Alt Gr	Super	Menu	Ctrl

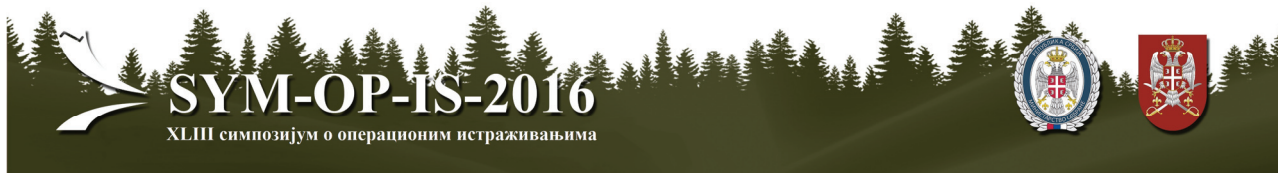
Слика 4: Преправљена тастатура Ерцеговића

У [5] се констатује да су данас (тј. пре тридесетак и нешто година) идеје о националним тастатурама напуштене и да се поставља захтев да се тастатуре потпуно изједначе (!), као и да се та акција спроводи у оквиру ИСО. Понашање наших надлежних органа и тела током свих ових година било је, доиста, свесно или несвесно на линији таквих идеја и захтева. Ипак, то је врло чудно, не само када је реч о идеји националне тастатуре, већ и када је реч о једноставној ефикасности. Универзална тастатура, на име, показала се као неподесна и за енглеско говорно подручје, за које је створена, а утолико више се као таква мора показати када је реч о другим језицима и писмима.

Најзад, кад је реч о националним особеностима (у било ком домену), неприхватљивост насиља које провејава из истакнутог става и захтева само се појачава. Њихово одбацивање реактивираће данас већ заборављене покушаје да се изгради национална тастатура (видети на пример Ерцеговићев, слика 4), односно морало би да доведе до нових идеја и нових предлога. Све њих, наравно, потребно је темељно анализирати и тестирати, између осталог и уз примену апаратуре Марковљевих ланаца, као што је то демонстрирано у раду [1] и у овом раду.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Буквић, Рајко М. QWERTY, ЙЦУКЕН и српска ћирилица: треба ли нам нови стандард?, *Зборник Матице српске за друштвене науке*, 67(1) 2016 1–17.
- [2] Power Typing – online free typing tutor, <http://www.powertyping.com>
- [3] Таха, Хэмди. *Введение в исследование операций*, Издательский дом Вильямс, Москва, 2001, 912 с.
- [4] Црњански. Милош. *Сеобе I*,
- [5] Ковачевић, Миљко. *Савремена типографија I.*, Београд: Образовни графички центар „Милан Ракић“, 1981, 229 стр.
- [6] Андрић, Иво. *На Дрини ћуприја*, www.bookzz.org



ИНТУИЦИОНИСТИЧКО ФАЗИ ХИЈЕРАРХИЈСКО КЛАСТЕРОВАЊЕ: ПРИМЕР СРПСКИХ СРЕДЊИХ ПРЕДУЗЕЋА

INTUITIONISTIC FUZZY HIERARCHICAL CLUSTERING: THE CASE OF SERBIAN MEDIUM-SIZED COMPANIES

САЊА ЖИВАНЧЕВИЋ, ДРАГАНА МАРКОВИЋ, ПАВЛЕ МИЛОШЕВИЋ, АЛЕКСАНДАР РАКИЋЕВИЋ, БРАТИСЛАВ ПЕТРОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, sanjazivancevic92@gmail.com, draganamarkovic.fon@gmail.com, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs, bratislav.petrovic@fon.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду представљена је примена интуиционистичког фазе (ИФ) хијерархијског кластеровања на проблем предвиђања банкрутства. Алгоритам за ИФ кластеровање који је коришћен је базиран на традиционалном хијерархијском кластеровању и одабраним ИФ мерама различитости. Коришћене су различите ИФ мере различитости/растојања (ИФ Хамингово растојање, ИФ Еуклидско растојање и две верзије ИФ Хаусдорфовог растојања), како би се испитао њихов утицај на формирање кластера и упоредили добијени резултати. У примеру, кластерована су 22 српска предузећа средње величине и добијени су добри и јасни резултати.

Кључне речи: Интуиционистичко фазе хијерархијско кластеровање, интуиционистичке фазе мере различитости, банкрутство, предузећа.

Abstract: In this paper, we aim to apply intuitionistic fuzzy (IF) hierarchical clustering algorithm on a bankruptcy prediction problem. IF clustering algorithm used in the study is based on the traditional hierarchical clustering and certain IF dissimilarity/distance measure. Various IF dissimilarity measure (IF Hamming distance, IF Euclidean distance and two versions of IF Hausdorff distance) are used in order to investigate their influence on forming clusters. In the example, we cluster 22 Serbian medium-sized companies obtaining promising results.

Keywords: Intuitionistic fuzzy hierarchical clustering, intuitionistic fuzzy distances, bankruptcy, companies.

1. УВОД

Кластеровање је техника истраживања података која на основу објеката и њихових веза сврстава податаке у кластере на основу информација које се могу уочити у подацима [1]. Циљ груписања података, које се врши помоћу одабране мере различитости, је да објекти унутар кластера буду слични, а различити у односу на објекте који припадају другим кластерима. У зависности од типа улазних података развијени су различити алгоритми за кластеровање.

Интуиционистички фазе скупови (ИФС) представљају генерализацију класичних фазе скупа на тај начин да осим функције припадности, ИФС узима у обзир функцију неприпадности елемента [2]. На тај начин је обезбеђен детаљнији опис атрибута, који је јако близак људској перцепцији. Коришћењем ИФС уопштене су различите технике истраживања података. ИФ хијерархијски алгоритам за кластеровање ИФС-а је заснован на традиционалном хијерархијском кластеровању, ИФ оператору агрегације и некој ИФ мери уда-

љености [3]. Алгоритам за хијерархијско кластеровање ИФС-а има два корака. Прво се на основу изведених придружених коефицијената гради матрица придруживања, која се коришћењем процедуре трансформације у матрицу једнакости. Други корак се састоји у креирању λ -cutting матрице од матрице једнакости, на основу које се врши кластеровање. Овај базични алгоритам је унапређен на различите начине. Унапређење процедуре за добијање интуиционистичке фазе матрице једнакости и λ -cutting матрице на основу које се врши кластеровање је предложена у [4]. На основу модуларних операција над ИФС-а и сличности између ИФС-а развијен је алгоритам за интуиционистичко кластеровање [5]. Осим ових алгоритама, развијени су и алгоритми за ИФ кластеровање базирани на релацији импликације [6], Буловој матрици и релацијама асоцијације [7], ИФ уопштење алгоритма кластеровања методом Ц-средњих вредности [8], и многи други. ИФ кластеровање се широко примењује у различитим областима, неке од области примене су препознавање патерна, микробиолошка анализа, медицинска дијаг-

ностика, био-информатика, прикупљање података и одлучивање.

У овом раду применићемо интуиционистичко фази хијерархијско кластеровање на проблем предвиђања банкротства 22 предузећа средње величине из Србије. Алгоритам за кластеровање, који је у раду коришћен, базиран је на традиционалном ИФ хијерархијском кластеровању и одабраним мерама различитости између интуиционистичких фази скупова. Срж сваког алгоритма за ИФ кластеровање је изабрана ИФ мера различитости. За потребе овог проблема биће разматране следеће мере: ИФ Хамингово растојање, ИФ Еуклидско растојање и две верзије ИФ Хаусдорфовог растојања. Наведене мере различитости су одабране са циљем да се испита њихов утицај на формирање кластера и упореде добијени резултати.

Рад је организован на следећи начин. У поглављима 2 и 3 овог рада објашњени су основни теоријски концепти везани за интуиционистичке фази скупове и ИФ мере различитости. У поглављу 4 описан је експеримент, добијени резултати и њихова анализа. У последњом поглављу наведени су главни закључци и смернице за даљи рад.

2. ИНТУИЦИОНИСТИЧКИ ФАЗИ СКУП

Концепт интуиционистичких фази скупова је увео Красимир Атанасов са циљем да елементе фази скупа опише не само помоћу функције припадности елемента неком скупу, као у случају класичних фази скупова, већ и помоћу функције неприпадности [2]. На овај начин интуиционистички фази скупови имају већу дескриптивну моћ од класичних фази скупова. Последично, порасла је и њихова примена у областима у којима се манипулише непрецизним и неодређеним подацима.

На основу дефиниције Атанасова [2], ИФС A у универзуму E је објекат:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \mid x \in E \rangle \} = \langle \mu_A, \nu_A \rangle \quad (1)$$

где су функције $\mu_A(x): E \rightarrow [0,1]$ и $\nu_A(x): E \rightarrow [0,1]$ функција припадности и функција неприпадности елемента x интуиционистичком фази скупу A . За свако $x \in E$ важи:

$$0 \leq \mu_A + \nu_A \leq 1 \quad (2)$$

Ако је функција неприпадности ИФС стандардна - негација функције припадности $\nu_A = 1 - \mu_A$, тада се ИФС своди на класичан фази скуп. У осталим случајевима ИФС имплицитно укључује и одређени ниво неодређености:

$$\pi_A = 1 - (\mu_A + \nu_A) \quad (3)$$

Укључивање неодређености додатно појачава дескриптивну моћ овог приступа. Неодређеност се може јавити услед недостатака информација или недовољног познавања података, затим постојања шума у под-

ацима, утицаја људског фактора [9] или неког другог разлога.

Један од проблема везан за рад са ИФС јесте што је - највећи број података у реалновредносном облику. Стога, развијени су различити начини интуиционистичке фазификације вредности (И-фазификација), која представља поступак мапирања нумеричких вредности у ИФС. Ова процедура је аналогна класичној фазификацији, која је најчешће и њен саставни део. Међу бројним методама И-фазификације често се користи И-фазификација коришћењем интуиционистичког фази генератора [10], чија је главна идеја да се на основу нивоа припадности генерише ниво неприпадности коришћењем неког унарног оператора који даје мањи или једнак резултат од стандардне фази негације. При раду са овом методом, функција припадности ИФС једнака је функцији припадности аналогног фази скупа. С друге стране, - метода И-фазификација коришћењем интуиционистичке фази ентропије модификује и фази функцију припадности [11]. Процес И-фазификације се реализује максимизирањем интуиционистичке фази ентропије за параметар λ тако да функције припадности и неприпадности имају следећи облик:

$$\mu_A = 1 - (1 - \mu_{F_x}^\lambda)^\lambda \quad (4)$$

$$\nu_A = (1 - \mu_{F_x}^\lambda)^{\lambda(1+\lambda)}$$

Вредност параметра λ се може поставити и на основу експертског знања. У случају ИФ кластеровања [12], предложено је да вредност овог параметра буде $\lambda = 0.95$.

3. ИНТУИЦИОНИСТИЧКЕ ФАЗИ МЕРЕ РАЗЛИЧИТОСТИ

Мере различитости су бинарни оператори којима се мери различитост/растојања између два објекта/атрибута. Оне представљају основу за различите алгоритме за кластеровање, закључивање на основу случаја, препознавање образаца, итд. Управо је одабир одговарајуће мере један од најзначајнијих проблема при формирању алгоритама кластеровања.

Мере различитости у оквиру теорије ИФС најчешће представљају генерализацију класичних геометријских мера различитости [13]. Приликом дефинисања мера различитости између два ИФС истраживачи су у почетку узимали у обзир само функције припадности и неприпадности. Касније су дали геометријску репрезентацију растојања између интуиционистичких фази скупова и показали како мерење растојања треба да узме у обзир сва три параметра ИФ скупова, тј. трећи параметар (степен неодрђености) не треба да буде изостављен из мере [13]. Узимањем у обзир сва три параметра приликом поређења два ИФС обезбеђује се детаљнија и прецизнија анализа. У овом раду ће детаљније бити разматране следеће мере у простору

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}.$$

1. Нормализовано ИФ Хамингово растојање [13]:

$$d(A, B) = \frac{1}{2 \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n (|\mu_A - \mu_B| + |v_A - v_B| + |\pi_A - \pi_B|) \quad (5)$$

2. Нормализовано ИФ Еуклидско растојање [13]:

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n ((\mu_A - \mu_B)^2 + (v_A - v_B)^2 + (\pi_A - \pi_B)^2)} \quad (6)$$

3. Нормализовано ИФ Хаусдорфово растојање, као генерализација Хаминговог и Еуклидског растојања [14, 15]:

$$d(A, B) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \max(|\mu_A - \mu_B|, |v_A - v_B|) \quad (7)$$

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \max((\mu_A - \mu_B)^2, (v_A - v_B)^2)} \quad (8)$$

4. ЕКСПЕРИМЕНТ

У овом раду применићемо различите мере ИФ различитости у оквиру алгоритма за интуиционистичко фази хијерархијско кластеровање. У циљу предвиђања банктрства, бавићемо се кластеровањем српских предузећа средње величине. Узорак који је прибављен од стране предузећа „CUBE Risk Management Solutions“ је балансиран који се састоји од 22 предузећа. Узорак је случајно изабран из веће базе података. Величина узорака је одређена због лакше презентације добијених резултата.

Као мере различитости између кластера коришћене су следеће мере: ИФ Хамингово растојање, ИФ Еуклидско растојање и две верзије ИФ Хаусдорфовог растојања, које су детаљно објашњене у претходном поглављу. Улазне вредности су И-фазификоване као у једначини 4, са фиксном вредношћу параметра $\lambda = 0.95$.

За потребе експеримента коришћено је 5 различитих финансијских рација изабраних по угледу на Алтманов Z скор [16]:

1. Нето обртна средства / Укупна актива;
2. Нераспоређена добит / Укупна актива;
3. Добит пре исплате камате и пореза / Укупна актива;
4. Тржишна вредност сопственог капитала / Књиговодствена вредност укупних обавеза;
5. Приход од продаје / Укупна актива.

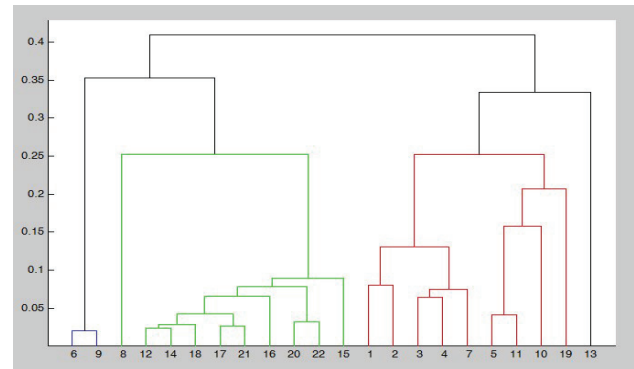
Алтманов Z модел је линеарна комбинација ових 5 финансијских рација и представља највише коришћен модел за предвиђање банктрства.

Резултати експеримента

Сви резултати ИФ кластеровања су приказани на одговарајућим дендограмима, при чему су кластери при-

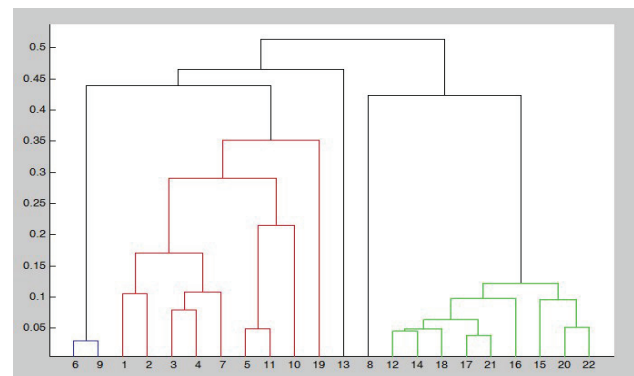
казани различитим бојама. Предузећа под редним бројевима од 1 до 11 су активна, док су предузећа под редним бројевима од 12 до 22 банктротирала.

Исход ИФ хијерархијског кластеровања када је ИФ Хемингово растојање коришћено као мера различитости приказан је на Слици 1.



Слика 1: Резултати кластеровања коришћењем ИФ Хеминговог растојања

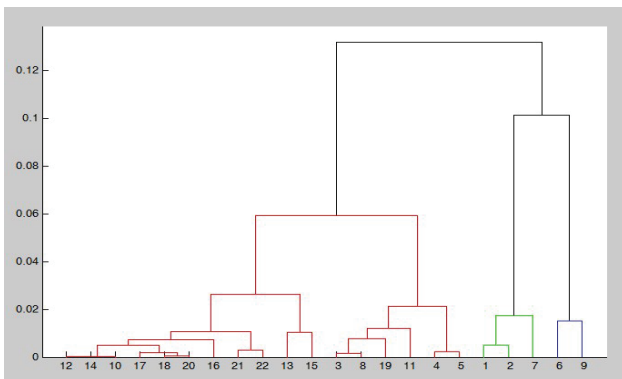
Коришћењем ове мере при кластеровању формирана су два доминантна кластера: црвени, који садржи активна предузећа, уз изузетак предузећа П19, и зелени, који садржи предузећа која су банктротирала, уз изузетак предузећа П8. Активна предузећа П6 и П9 формирају засебан кластер, који је блискији предузећима која су банктротирала. Предузеће П13 је једино у засебном кластеру.



Слика 2: Резултати кластеровања коришћењем ИФ Еуклидског растојања

Зелени кластер садржи искључиво предузећа која су банктротирала. Предузеће П8 је блиско њима, иако је активно. Црвени кластер садржи активна предузећа, са изузетком предузећа П19. Предузећа П6 и П9 формирају засебан кластер, који је у овом случају ближи другим активним предузећима. Предузећа П8 и П13 су једина у овим кластерима, те њих треба посебно мотрити.

Резултати ИФ хијерархијског кластеровања када су коришћена ИФ Хаусдорфова растојања базирани на Хеминговој и Еуклидској мери се ни најмање не разликују. Стога, на Слици 3. су приказани резултати када је коришћено ИФ Хаусдорфовог растојања базираног на Хеминговој дистанци.



Слика 3: Резултати кластеровања коришћењем ИФ Хаусдорфовог растојања базираног на Хеминговој дистанци

Резултати кластеровања при коришћењу ових дистанци су битно различити од претходно приказаних. Јасно су издвојени кластери који садрже активна предузећа П1, П2 и П7, и предузећа П6 и П9. Стога, можемо закључити да ова предузећа битно различито послују од остатка групе. У оквиру великог црвеног кластера могу се уочити два подкластера која садрже по један изузетак. Ипак, разлика између ових подкластера није превелика.

Генерално, можемо закључити да ИФ кластеровање коришћењем ИФ Хеминговог и Еуклидског растојања даје јаснију поделу између активних предузећа и оних која су банкротирала. При томе, у случају ИФ Еуклидског растојања, активна предузећа П6 и П9 су блискија осталим активним предузећима. Стога, Можемо закључити да ИФ Еуклидског растојања интуитивно даје најбоље резултате при решавању овог проблема.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду испитиван је утицај различитих ИФ мера различитости на исход кластеровања српских предузећа средње величине. ИФ кластеровање коришћењем ИФ Хеминговог и Еуклидског растојања дало је боље резултате у односу на ИФ Хаусдорфовог растојања, у смислу да се добија јаснија подела између активних предузећа и оних која су банкротирала. У случају ИФ Еуклидског растојања, кластери који садрже сва активна предузећа су блискије распоређени, тако да можемо закључити да ИФ Еуклидског растојања интуитивно даје најбоље резултате. Будући рад ће бити усмерен на коришћењу нових ИФ мера различитости у оквиру постојећег алгоритма и детаљнију анализу добијених резултата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Jain, A. K., "Data clustering: 50 years beyond K-means", *Pattern recognition letters*, 31(8) (2010) 651-66.
 [2] Atanassov, K. T., "Intuitionistic fuzzy sets", *Fuzzy sets and Systems*, 20(1) (1986) 87-96.

[3] Zeshui, X., "Intuitionistic fuzzy hierarchical clustering algorithms", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 20(1) (2009) 90-7.
 [4] Zhang, H. M., Xu, Z. S., i Q. Chen, "On clustering approach to intuitionistic fuzzy sets", *Control and Decision*, 22 (2007) 882-8.
 [5] Chen, D. F., Lei, Y. J., i Y. Tian, "Clustering algorithm based on intuitionistic fuzzy equivalent relations", *Journal of Air Force Engineering University*, 8 (2007) 63-5.
 [6] Wang, Z., Xu, Z., Liu, S. i Z. Yao, "Direct clustering analysis based on intuitionistic fuzzy implication", *Applied Soft Computing*, 23 (2014) 1-8.
 [7] Zhao, H., Xu, Z., i Z. Wang, "Intuitionistic fuzzy clustering algorithm based on Boole matrix and association measure", *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 12(1) (2013) 95-118.
 [8] Huang, C. W., Lin, K. P., Wu, M. C., Hung, K. C., Liu, G. S., i C. H. Jen, "Intuitionistic fuzzy c-means clustering algorithm with neighborhood attraction in segmenting medical image", *Soft Computing*, 19(2) (2015) 459-70.
 [9] Liu, B., *Uncertainty theory (4th ed.)*, Springer-Verlag, Berlin, 2015.
 [10] Bustince, H., Kacprzyk, J., i Mohamedano, V., "Intuitionistic fuzzy generators application to intuitionistic fuzzy complementation", *Fuzzy sets and systems*, 114(3) (2000) 485-504.
 [11] Vlachos, I. K., Sergiadis, G. D., "The role of entropy in intuitionistic fuzzy contrast enhancement", In *Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing: 12th International Fuzzy Systems Association World Congress*, (2007) 104-13.
 [12] Visalakshi Karthikeyani, N., Parvathavarthini, S., i K. Thangavel, "An Intuitionistic Fuzzy Approach to Fuzzy Clustering of Numerical Dataset", In *Computational Intelligence, Cyber Security and Computational Models, Advances in Intelligent Systems and Computing* 246, (2014) 79-87.
 [13] Szmidt, E., Kacprzyk, J., "Distances between intuitionistic fuzzy sets", *Fuzzy sets and systems*, 114(3) (2000) 505-18.
 [14] Grzegorzewski, P., "Distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval-valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric", *Fuzzy sets and systems*, 148(2) (2004) 319-28.
 [15] Chen, T. Y., "A note on distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval-valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric", *Fuzzy Sets and Systems*, 158(22) (2007) 2523-5.
 [16] Altman, E. I., "Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy", *The journal of finance*, 23(4) (1968) 589-609.



АНАЛИЗА МЕТОДОЛОГИЈА У РАЗВОЈУ СОФТВЕРСКИХ РЕШЕЊА

ANALYSIS METHODOLOGY IN SOFTWARE SOLUTIONS DEVELOPMENT

ТАТЈАНА ДАВИДОВ

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, tanja.davidov1@gmail.com

САША БОШЊАК

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, sasabosnjak1996@gmail.com

Резиме: Развој софтверских решења је увек актуелна тема истраживања. Нема обрасца којим се дефинише најбоља, најправилнија или најпрофитабилнија методологија за развој софтвера. Софтвер инжењеринг настоји да реши многобројне проблеме током развоја софтвера који се односе на: време и трошкове развоја, грешке софтвера, одржавање софтвера, флексибилност, квалитет са становишта његове употребљивости. (Roger S. Pressman, 2010). Формирање софтверског прототипа је од великог значаја у односу на коначан успех пројекта. Велики системи захтевају ригидну и поуздану методологију развоја, док мале софтверске целине морају бити флексибилне, прилагођене могућностима вишеструке употребе, а њихова функционалност у потпуности мора одговарати крајњим корисничким захтевима. Развојно радно окружење мора да обухвати и оперативно спроведе све захтеве које намеће комплексно подручје софтверског развоја.

Кључне речи: традиционалне методе, компонентно базиран развој софтвера, агилно, софтверско решење, компонентно базиран софтвер инжењеринг.

Abstract: Software solutions development is always a current topic of research. There is no pattern that defines the best, most profitable and the most proper methodology for software development. During software development software engineering is trying to solve numerous problems related to: time and development costs, software errors, software maintenance, flexibility, quality from the standpoint of its usability (Roger S. Pressman, 2010). The great importance to the ultimate success of the project is forming a software prototype. Large systems require a rigid and reliable development methodology, while small software units must be flexible, customized opportunities of multiple use, and their functionality must fully match the end-user requirements. Development-work environment must include and operationally implement all the requirements imposed by the complex area of software development.

Keywords: traditional methods, component-based software development CBSD, agile, software solution, component-based software engineering (CBSE).

1. УВОД

Модерна производна индустрија суочава се са два главна изазова: бољи квалитет производа по нижим ценама и већом продуктивношћу. Софтверска индустрија такође је изложена истим захтевима и проблемима. Бројна истраживања су спроведена везано за имплементацију производње софтвера са циљем да се постигне софтвер који одговара захтевима и стандардима. На жалост све развојне активности су дизајниране да раде индивидуално, без међусобно везаних фазних итерација и утврђених корака развоја. Производне активности софтвера се реализују само на основу техничких вештина и стратегије остваривања софтверских захтева, не узимајући у обзир стандарде квалитета производа који се морају испунити како би одговорили на захтеве софтверског решења (и радних тимова који о томе одлучују: експерти, програмери,

крајњи корисници или купци) (С. V. Kifor, N. Tudor, & Lal Mohan Baral, 2013).

2. КВАЛИТЕТ СОФТВЕРА

Квалитет софтвера је појам који се и поред свеобухватних анализа ипак не може сасвим јасно дефинисати, нити се могу одредити параметри који прецизно указују на квалитет. Многи аутори су се бавили квалитетом софтвера, а међу првим у тој области су (Jim A. McCall, Paul K. Richards, & Gene F. Walters, 1977), да би се касније квалитетом софтвера бавиле многобројне студије (Dr. James A. Bednar & Dr. David Robertson, 2005), (William A. Florac, 1992), (Capers Jones, 2013), (Krzysztof Sacha, 2004), (Patrik Berander, Lars-Ola Damm, Jeanette Eriksson, Tony Gorschek, Kennet Henningsson, Per Jönsson, Piotr Tomaszewski, 2005). У литератури постоји много дефиниција квалитета софтвера (Daniel Acton, Derrick G Kouriey, & Bruce W

Watsony, 2014). Квалитет софтвера је комплексан појам и посматра се са више становишта и експертских домена. Квалитет је задовољен, ако његови делови, компоненте или независне софтверске целине, као и системско и радно окружење у коме се реализује њихова употребљивост, јесу: (1) у складу са специфичним захтевима крајњих купаца или су у складу са дефинисаним спецификацијама, што подразумева да остварују (2) структурални квалитет који се рефлектује кроз саму производњу софтвера и задовољавање нефункционалних захтева који подржавају: робусност, одржавање и степен до кога се софтвер правилно развија (C. V. Kifor, N. Tudor, & Lal Mohan Baral, 2013).

Комплексност квалитета софтвера произилази из двозначне процене истог: (1) произвођача софтвера (software developers), односно корисника софтверских развојних алата, методологија, радних развојних окружења и (2) крајњих корисника софтверског апликативног решења, који оцењују квалитет у складу са софтверским спецификацијама које произилазе из корисничких захтева (Sebastian Barney, 2009). Програмери и софтвер инжењери квалитета софтвера процењују посматрајући могућности развојног окружења, перформанси, могућности вишеструке употребе готових делова софтверских решења, могућности и флексибилност радних активности у поступку одржавања софтверског система. Стога да би се повећао квалитет софтверског производа важно је пронаћи решење прилагођено захтевима, обogaћено, све захтевнијом и доступном документацијом и развијених нових концепата који нису познати већ постојећим решењима (C. V. Kifor, N. Tudor, & Lal Mohan Baral, 2013).

3. МЕТОДОЛОГИЈЕ РАЗВОЈА СОФТВЕРА

Методологије развоја софтвера током времена се мењају. Најчешће се спомињу методологије као што су: Waterfall модел (водопада) (Barry W. Boehm, 1988), Методологија за паралелни развој, В модел, Инкрементални модел, Спирални модел, Rapid Application Development (RAD), Rational Unified Process (RUP), Extreme Programming (XP), Scrum методологија. Традиционални Waterfall модел има значајних недостатака на које је указивао Barry Boehm, (1988), који настоји да истакне значај и предности новог спиралног модела. Boehm истиче значајну улогу модела у развоју софтвера, и важност процесног модела, који даје смернице развоја: фазе, напредовање, прототип, валидација задатака итд. (Barry W. Boehm, 1988). Barry Boehm описује радни оквир (framework) и архитектуру софтвера, као и многа друга, чак и сада важна питања софтверске архитектуре и праваца развоја (Barry Boehm, Prasanta Bose, & Greg Toth, 1993). Један од значајних модела у развоју софтвера који се пре свега темељи на традиционалном приступу развоја, јесте компонентно базирано софтверски инжењеринг (¹ CBSE) такозвани компонентни модел. Деведесетих година прошлог века многобројни експерти истичу улогу и

значај компоненти у развоју софтвера (Wolfgang Pree, 1997) и други.

Како су компоненте самостални ентитети са лабавим међусобним зависностима, јединице комплексне CBSE архитектуре, у којима су пречишћене функционалности и отклоњени сви недостаци (Diego Alonso, Francisco Sánchez-Ledesma, Pedro Sán, Juan A. Pastor, & Bárbara Álvarez, 2014), компонентна архитектура поседује решења која недостају објектним развојним принципима. Објектно оријентисани развој софтвера (Object oriented software development OOSD) кроз поступке моделовања ствара поново употребљив код, а истовремено је грађен из неког већ постојећег кода, уз повећање толеранције и флексибилности на настале промене и смањење грешака енкапсулацијом (Mohamed Belal, Ayman Khedr, & Ahmed Gohar, 2012).

Агилни развој софтвера (Agile Software Development ASD²) је нови правац настао 2001 године. Значајно одступа од традиционалног развоја софтвера и свих досадашњих методологија, али ипак има огроман утицај на развој софтвера свугде у свету. Агилност је донело брзину, једноставност, прецизност, комуникативност и много других позитивних фактора који карактеришу развој софтвера али ипак, мало је, и недовољно познато, колико је заиста агилни метод користан у комплексном окружењу. Упоређивање агилних и традиционалних метода је питање многобројних истраживања. АСД за разлику од традиционалног (плански оријентисаног) подразумева: (1) олакшање и бржи пут ка тржишту и континуирану интеграцију нових захтева, (2) повећање продуктивности уз одржавање квалитета и флексибилности софтвера (Rashmi Popli & Dr. Naresh Chauhan, 2013).

У изградњи софтверских решења примењују се једнако: агилни, адаптивни и поуздани процеси, што доводи до резултата високог квалитета, задовољавајући потребе клијената и осталих актера који ће софтвер користити. Неопходан софтверско инжењерски приступ омогућује изградњу комплексних система који испуњавају захтеве правовремено и квалитетно (Roger S. Pressman, 2010). Софтвер инжењеринг настоји да пружи одговоре на следећа питања током развоја софтвера: (1) Зашто је потребно толико времена да се софтвер заврши?, (2) Зашто су развојни трошкови толико велики?, (3) Зашто не можемо пронаћи све грешке пре него што софтвер не испоручимо нашим клијентима?, (4) Зашто трошимо тако много времена и труда у одржавању постојећих програма?, (5) Зашто и даље имамо потешкоћа у мерењу напретка у ток развоја софтвера и одржавања? (Roger S. Pressman, 2010).

Узимајући у обзир питања софтверско инжењерског приступа, настојимо да пронађемо решење и поставимо методологију развоја софтвера, којом бисмо испунили захтеве и очекивања која софтверско инжењерски приступ настоји да испуни током извршавања многобројних задатака и акција у формирању комплексног софтверског система.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Component-based_software_engineering, преузето 10.6.2016.

² <http://www.agilemanifesto.org/> сајт садржи преглед оригиналних концепата агилних методологија, преузето 13.6.2016.

4. КОМПОНЕНТНИ ПРИСТУП У РАЗВОЈУ СОФТВЕРСКИХ РЕШЕЊА

Component-based software development³ CBSD се методолошки базира на развоју софтвера заснованог на компонентама, које чине независне сврсисходне радне целине у оквиру дефинисане софтверске архитектуре. Компонентни развој софтвера произилази из објектно-оријентисаног програмирања (object-oriented programming, OOP), али ова два појма развоја софтвера нису иста⁴. OOP је методологија и техника развојног приступа којим се софтверске компоненте развијају. Развој софтвера заснован на компонентама такође се заснива на методологији која дефинише радно окружење у коме се имплементирају развојне активности, за производњу нових или уградњу и коришћење постојећих компоненти (Kung-Kiu Lau, 2004). Такве компоненте јесу вишеструко употребљива софтверска решења (Reuse (R) software components) која унапређују продуктивност током развоја софтвера, фокусирајући се на остварене трошкове и користи у предузећу (Ronald J. Leach, 2011). Ефекти вишеструке употребљивости R компоненти доказују се неопходним мерењем параметара сврсисходним поступцима и метрикама (Suchita Yadav, Dr. Pradeep Toma, & Sachin Kumar, 2014). Иако се софтверска индустрија масовно развила у последњих неколико деценија, R компоненте и даље су суочене са бројним изазовима и још увек недостају усвојени ставови стручњака по питању архитектуре и правила употребе R компоненти. Тако до сада нема јасног радног оквира за R (reusability) софтвер, као ни метрике којима се експлицитно доказује његова предност (Danail Hristov, Oliver Hummel, Mahmudul Haq, & Werne Janjic, 2012).

5. УПОРЕЂИВАЊЕ СОФТВЕРСКИХ РАЗВОЈНИХ МЕТОДОЛОГИЈА

Појам „агилно“, значи брзо, нови начин размишљања и скуп алата чијом применом се постиже успех у развојним пројектним активностима (Scott S Nelson, 2008). Scott⁵. Scott такође настоји да оправда мишљење и ставове противника агилног развоја. Агилни приступ се бира у случају да је рок решавање пословних задатака кратак, јер исти даје брз резултат и конкретне артефакте који то потврђују. Заступници агилног развоја налажу да пројекти требају да буду мањи, итеративно подељени, да имају усвојене агилне принципе, а пројектни тимови морају бити стручни и искусни. Велики пројекти имају прецизно дефинисане ригидне ставове, јасне фазе и фазне задатке, захтевају велике тимове, који се формирају из малих и имају прилику да уче, да се развијају и да развијају своју комуникацију која ствара резултате. Развој агилних методологија такође у себи садржи ризик (страх, несигурност и сумњу)⁶, али њихова значајна предност је у континуираној и отвореној комуникацији на свим нивоима и за све заинтересоване стране. Ако наведено упоредимо са досадашњим развојем софтвера, можемо са сигурношћу тврдити да је код традиционалне методе водопада било немогуће да директно програмер комуницира са непосредним клијентом, а то понекад може значити разлику између успеха и неуспеха пројекта. Агилно значи много различитих процеса који се могу: усвојити, додавати, комбиновати, елиминисати и мењати, али у почетним фазама су склони грешкама. Противници агилних метода су у великој заблуди када тврде да је модел водопада ригидан и неприступачан агилним принципима. Агилни развојни тим који током рада развија прототипове својих пројеката на почетним високим захтевима пројекта, који се реализују по методу водопада, биће у стању да покаже своја достигнућа у раним фазама развоја и да истовремено дођу до повратних информација од клијената. Агилни процеси развоја се тако могу користити у оквиру одређене фазе водопадних процеса, те се тим путем стварају рани резултати пројекта у виду прототипа, а ови кораци истовремено утичу на промене осталих појединачних фаза модела водопада, што побољшава резултат пројекта уопште. Дакле традиционалне методе могу да се интегришу са агилним методама развоја софтверских пројеката ако се правилно распореди њихова улога и редослед реализације задатака, јер агилне методе су опредељене ка успеху, али као и сваки алат ако се не користи правилно неће дати праве резултате (Scott S Nelson, 2008).

6. ЗАКЉУЧАК

Како је CBSE и CBSD већ скоро тридесет година применљива методологија у развоју софтверских решења, пружају велики допринос савременим техничким достигнућима. Развој софтверског пројекта треба да буде комбинација знања, креативности, стручности, методологија, техника, брзине, комуникативности и других многобројних фактора који утичу на коначан исход пројекта. Стога је метод који треба одабрати такође комбинација традиционалног и савременог, ригидног и окретног. Ако CBSD даје ту сигурност, пружа могућност многоструке употребљивости што у крајњем сегменту повећава профит, онда предлагемо да то буде основна методологија коју треба користити у развојним процесима. Агилне методологије треба применити у свим сегментима где генеративна решења CBSE нису у потпуности задовољавајућа сходно дефинисаним информационим захтевима система, а пројекат је потребно завршити брзо и уз квалитетну сарадњу између развојног тима и свих нивоа корисника који одлучују о квалитету добијеног софтверског решења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. V. Kifor, N. Tudor, & Lal Mohan Baral. (2013). Quality system for production software

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Component-based_software_engineering, преузето 12.12.2015.

⁴ <http://thrysoe.dk/InsideCOM+/ch01b.htm>, преузето 12.12.2015.

⁵ Искусан експерт из области развоја софтвера и практични познавалац различитих праваца и методологија развоја софтвера, дугогодишњи лидер у области веб технологија

⁶ Енглески термин: FUD (Fear, Uncertainty, and Doubt)

- [2] Danail Hristov, Oliver Hummel, Mahmudul Huq, & Werne Janjic. (2012). Structuring Software Reusability Metrics for Component-Based Software Development.
- [3] Dr. James A. Bednar, & Dr. David Robertson. (2005). Software Quality and Standards.
- [4] Jim A. McCall, Paul K. Richards, & Gene F. Walters. (1977). Factors in software quality: Concept and Definitions of Software Quality.
- [5] Kung-Kiu Lau. (2004). Component-based software development. World Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd. .
- [6] Rashmi Popli, & Dr. Naresh Chauhan. (2013). Agile Software Development. IJCS, (pp. 153-156).
- [7] Ronald J. Leach. (2011). Software reuse: methods, models, and costs (Vol. 414).
- [8] Scott S Nelson. (2008). Why Agile Projects Fail.
- [9] Sebastian Barney. (2009). Perspectives on software and their priorities balancing conflicting stakeholder views.
- [10] Suchita Yadav, Dr. Pradeep Toma, & Sachin Kumar. (2014). Metrics Suite for Accessing the Reusability of Component.
- [11] Tassio, V., Ivica, C., Eduardo, S. d., Paulo, A. d., Yguaratã, C. C., & Silvio, R. L. (2015). Twenty-eightyearsofcomponent-basedsoftwareengineering.
- [12] Wolfgang Pree. (1997). 1997 Component-Based Software Development—A New Paradigm in Software Engineering -. Software—Concepts and Tools, 169–174

МЕҢАҶИМЕНТ



АНАЛИЗА СТРАТЕШКИХ ИНТЕРАКЦИЈА У КИНЕМАТОГРАФСКИМ ОСТВАРЕЊИМА ПРИМЕНОМ ТЕОРИЈЕ ИГАРА

THE ANALYSIS OF STRATEGIC INTERACTIONS IN FILMS USING GAME THEORY

АРСЕН ЛОНЧАР

Београдска пословна школа – Висока школа струковних студија, Београд, arsen.loncar@gmail.com
др МАРИЈА КУЗМАНОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, mari@fon.bg.ac.rs

Резиме: Доношење правих одлука у играма попут Дилеме затвореника, те доношења низа битних стратешких одлука у кризним ситуацијама на најбољи начин показује конкретну и неизоставну улогу теорије игара. Предмет истраживања овог рада односи се на анализу и обраду ситуација које садрже елементе теорије игара, а садржане су у најпознатијим остварењима филмске индустрије. Циљ је да се преко филмова као што су Бетмен и Шиндлерова листа прикажу ситуације у којима се налазе играчи и како их они решавају. Биће анализирани карактеристичне игре, стратешки потези, као и манипулација информацијама у циљу преокрета игре у сопствену корист. Разумевање ових сцена је веома корисно и применљиво како у пословном, тако и у свакодневном животу.

Кључне речи: Теорија игара, кинематографија, карактеристичне игре, стратешки потези.

Abstract: Making the right decision in game such as The Prison Dilemma, and making the series of important strategic decisions in crisis situations shows in the best way concrete and indispensable role of game theory. This study focuses on the analysis and processing of situations which are contained in the most famous movies. The goal is to get through movies such as The Dark Knight and Schindler's List to show situations in which the players are and how do they solve them. Characteristic games, strategic moves, and manipulation of information will be analyzed with goal to show how do they turned game in their favor. Understanding of these scenes is very useful both at business and in everyday life.

Keywords: Game Theory, Cinematography, Characteristic games, Strategic moves.

1. УВОД

Теорија игара представља математичку дисциплину која се бави анализом друштвених појава и процеса у ситуацијама када постоји конфликт или делимични конфликт између два или више учесника, доносиоца одлуке, односно играча [1]. Циљ ове теорије је да одреди понашање учесника које је за њих најповољније, под претпоставком да су рационални и да размишљају стратешки [2]. Предмет проучавања теорије игара је игра која представља формални опис неке стратешке ситуације. Игра се односи на интеркацију између два или више рационалних, узајамно свесних играча при чему одлуке једних утичу на исходе других играча [3].

Решење игре, тзв. еквилибријум или равнотежа, нуди предвиђање шта ће сваки рационалан играч који учествује у датој игри остварити уколико се придржава неког критеријума избора. Еквилибријум представља скуп оптималних стратегија, за сваког играча по једна, за који важи да једнострано одступање од те стратегије може само да смањи исплату тог играча [4]. Циљ овог рада је анализа стратешких интеракција у познатим остварењима филмске индустрије, Мрачни витез и Шиндлерова листа. Применом концепата тео-

рије игара биће анализирани неке од многобројних стратешких ситуација. Посебан нагласак биће на анализи стратешких потеза и њиховом утицају на крајње исходе.

2. ИГРЕ И СТРАТЕШКИ ПОТЕЗИ

Томас Шелинг је, у својој књизи "The Strategy of Conflict" [5], иницирао формално истраживање везано за стратешко понашање и увео неке веома значајне концепте. Он истиче разлику између претњи, обећања и обавезивања. Претње означавају казну наметнуту суиграчу у случају да предузме акцију која је непожељна, док обећања подразумевају награду, уколико је предузета акција пожељна.

Стратешки потез је, по Шелингу, "потез неке особе који утиче на изборе других, деловањем на њихова очекивања везана за будуће сопствено понашање, а које имају повољан исход за ту особу". Стога прављење успешног стратешког потеза захтева од неког играча гледање у напред и резонување у назад. Шелинг даље тврди да су потези стратешки само уколико су задовољена следећа четири захтева [3]:

- *Секвенцијални потези.* Могуће је направити потез пре осталих играча, чинећи да они начине последњи потез.
- *Комуникација.* Сви играчи морају бити свесни акције или потеза других играча пре него што начине сопствени потез.
- *Утицај на намере.* Будући потези морају изазвати промену намере или избора, тј. потез мора променити оптимално понашање у будућности.
- *Рационална очекивања.* Потез неког играча не сме да промени само његове намере или изборе, већ и мишљење другог играча о оптималном курсу акција датог играча у будућности.

Кључно питање везано за стратешку анализу је да ли су стратешки потези кредибилни. Уколико једна особа предузме неку непожељну акцију и уколико другој више није у интересу да спроведе своју претњу, тада је претња не кредибилна. Слично важи и за обећања. Улога стратешког потеза је да конвертује претње и обећања у обавезу и да их тиме учини кредибилним [6].

Неки од начина за стицање кредибилитета су смањењем поља деловања уклањањем непожељних акција (спаљивање мостова, аутоматско испуњење, делегирање, прекид комуникације) или променом сопствених исплата (репутација и ирационалност).

3. СТРАТЕШКИ ПОТЕЗИ У ФИЛМУ „МРАЧНИ ВИТЕЗ“

Филм о Бетмену из 2008. Године (*The Dark Knight*) је пун занимљивих и напетих сцена. Током филма Бетмен покушава да се обрачуна са Џокером који увек изводи нове трикове и чини се да је један корак испред свих. Потпуно непредвидив, са савршено испланираним потезима Џокер има само једну жељу, а то је да уништи Бетмена. Цео филм је низ игара и резултат резоновања стратешких мисли, а теорија игара је присутна чак и у сценама где се не зна која се игра уопште изводи.

3.1. Игра пирата и расподела ресурса

На почетку филма догађа се сцена пљачке банке која одређује даљи ток филма. Ова сцена је слична популарној игри о пиратима и подели блага [3].

План пљачке банке састоји се из два дела. Једна екипа се налази на крову зграде и задужена је да онеспособи аларм и прикључи се касније екипи која улази у банку и узима новац из сефа. Екипа у колима дискутује о договору о подели плена за који мисле да је неправедан. Пљачкашима се не свиђа чињеница да Џокер узима исто колико и они, а ради много мање. Њихово неслагање потезе питање равноправне расподеле добитка, које је суштина кооперативне теорије игара и тиче се разумевања мотивације и сарадње. Нека од питања која се постављају и на које се жели наћи одговор су: Како веровати себичним људима? Како постићи кооперативне резултате са различитим мотивима?

У филму пљачкаши пристају на равноправну поделу добитка за неравномерно одрађен посао, те се поставља питање да ли су узели у обзир различиту мотивацију и међусобно (не)поверење. Теорија игара и стратешко промишљање базирају се на идеји да не треба веровати некоме само зато то се слаже у вези са планом, већ само оном ко помаже јер има своје интересе у том плану.

Наиме, сваки пљачкаш би желео да повећа свој део тако што би убио другог пљачкаша након што он заврши свој део посла, када губи своју вредност и преговарачку моћ. Џокер ове мотиве користи и наводи пљачкаше да се поубијају међусобно након завршетка посла за које су задужени. Сваки од њих има за циљ да убије само једног, не знајући да је и он нечија мета. Игра би била другачија да су се пљачкаши међусобно познавали. Оно што пљачкаши нису узели у обзир је то да и сами могу да буду жртва, баш као неко кога су они убили тренутак раније. Да су гледали унапред и резоновали уназад вероватно би видели мане плана пљачке и вероватно остали живи.

Основно правило стратешког размишљања је бити свестан тога ко су суиграчи, које су им расположе акције и исплате. У ситуацијама када се то не може са сигурношћу утврдити, приликом моделирања игре уводе се и субјективна уверења играча, тј. додељују се вероватноће одређеним потезима. Таква игра се назива и Бајесова игра.

3.2. Игра кукавице као стратешки потез

Друга сцена која ће овде бити анализирана је игра кукавице између Џокера и Бетмена. Након јурњаве по граду Бетмен коначно онеспособљује Џокера и на мотору иде великом брзином ка њему, док Џокер мирно стоји.

Матрица стандардне игре кукавица за дату сцену, приказана је на слици 1. Најпожељнијим исходима за оба играча додељен је ранг 4, а најмање пожељним 1. Овако дефинисана игра има два еквилибријума, (Скреће, Остаје на месту) и (Не скреће, Бежи).

		Џокер	
		Остаје на месту	Бежи
Бетмен	Не скреће	1, 1	4, 2
	Скреће	2, 4	3, 3

Слика 1: Матрица плаћања у игри Кукавице

Ипак, оно што утиче на исход саме игре је чињеница да Бетмену није у интересу да убије Џокера. Сада су у матрици плаћања рангови исхода нешто измењени (Слика 2). Може се уочити да Џокер сада има доминантну стратегију, те је еквилибријум скуп стратегија (Скреће, Остаје на месту). У филму се управо то и дешава, Бетмен испада "кукавица" и скреће, док Џокер остаје мирно да стоји.

		Докер	
		Остаје на месту	Бежи
Бетмен	Не скреће	1, 3	3, 1
	Скреће	4, 4	2, 2

Слика 2: Матрица плаћања модификоване игре

Оно што је најзанимљивије у овој сцени је управо чињеница да су и један и други направили унапред планиране стратешке потезе. Бетмен је намерно скренуо и пао са мотора, правећи се да је озбиљно повређен и чекајући Докера да дође до њега. Када је Докер пришао довољно близу полицајац Гордон га је сачекао и ухапсио. Исподањем кукавице у игри, Бетмен је успео да савлада Докера који је ухапшен.

Ипак, најзанимљивији обрт се догодио недуго затим. Докеров план је од почетка био да буде ухапшен и играо је Бетменову игру. Њему је било потребно да буде ухапшен не би ли свој следећи потез повукао из затвора. Ову опцију Бетмен није ни узео у обзир.

3.3. Дилема затвореника и цивила

Последња сцена која ће овде бити анализирана је социјални експеримент који је Докер задао становницима Готама. Он се народу обратио преко свих ТВ станица и изјавио следеће: *"До сумрака, град је мој, и свако ко остане играће по мојим правилима. Ако нећете да будете у игри идите одмах, али тунели и мостови вам вам нису сигурни!"*.

Овом изјавом навео је градске власти да изврше евакуацију бродовима. У прилог му је ишла репутација, односно страх који се раширио градом изазван његовим претходним поступцима. Град је одлучио да у једном броду буду превозени цивили, а у другом затвореници. Докер је, узевши у обзир да ће се управо то и десити, у оба брода поставио бомбу, онеспособио радио везу између бродова, а онда је саопштио правила игре:

- Ако неко покуша да напусти брод сви ће умрети.
- На сваком броду постоји даљински управљач преко кога може да се разнесе други брод.
- Уколико нико не активира бомбу до поноћи, оба брода ће бити разнета.
- Уколико неко од учесника активира бомбу, његов брод ће бити безбедан.

Докерова намера је била да наведе играче да једни друге дигну у ваздух. Брод са цивилима који нису начинили никакве злочине, осетио је да је, у циљу спасавања сопствених живота, потпуно оправдано да униште брод са затвореницима. Са друге стране брод са затвореницима је лако могао да савлада чуваре на броду или их наведе да они активирају експлозив на цивилном броду, и претпоставља се да је њихов инстинкт за преживљавањем израженији од просечног човека.

Свака страна је имала дилему шта ће друга страна највероватније урадити, и да ли ће и у ком тренутку активирати експлозив. Што је више време пролазило била је већа вероватноћа да ће супарнички брод активирати експлозив.

Претходно описана симултана игра, у којој су играчи путници два брода са по две могуће стратегије, измоделирана је матрицом плаћања датом на слици 3. Са x је означена вредност савести цивила уколико притисну дугме и униште брод са затвореницима, док је са y означена вредност савести затвореника у истој ситуацији. Са z је означена вредност претње Докера да ће уништити оба брода уколико сами не притисну дугме.

		Затвореници	
		Притиснути	Не притиснути
Цивили	Притиснути	-1, -1	5-x, -2
	Не притиснути	-2, 5-y	10-z, 10-z

Слика 3: Социјални експеримент

Може се уочити да је за $x = 0$, $y = 0$ (ако претпоставимо да обе стране немају савест) и $z > 5$ (да је Докерова претња кредибилна), у питању игра Дилема затвореника и доминантна стратегија обе стране је да притисну дугме.

За $x = 2$, $y = 2$ и $z = 5$ (под претпоставком да путници имају савест и да је шанса да Докер испуни своју претњу 50% било због савести или што би био спречен од стране Бетмена), матрица исплате дата је на слици 4. Сада играчи немају доминантну стратегију а еквилибријум је да нико не притисне дугме.

		Затвореници	
		Притиснути	Не притиснути
Цивили	Притиснути	-1, -1	3, -2
	Не притиснути	-2, 3	5, 5

Слика 4: Модификована матрица социјалног експеримента

У филму се управо то и десило. Нико није притиснуо дугме и сви су преживели јер је Бетмен на време спречио Докера. Поставља се питање шта би било да Бетмен није стигао и како одреаговати у реалном животу у сличним ситуацијама? Да ли би цивили могли разнети други брод и убити толико људи? Како живети са чињеницом да си одговоран за смрт огромног броја људи? Док са друге стране, иако су починили злочине, затвореници осећају исти притисак, и наравно, ни они не желе да умру. Свакако је боље живети са тим притиском него умрети, али се поставља питање да ли је неко у стању да преузме одговорност за тај чин? И још једно питање се поставља. Да ли веровати Докеру да ће поштедети оне који притисну дугме? Да ли је то Докеру у интересу или се прича своди на исту причу

као са пљачкашима које је навео да се међусобно поубијају.

4. НЕИСЗВЕСНОСТ И БАЈЕСОВА ИГРА У ФИЛМУ „ШИНДЛЕРОВА ЛИСТА“

Свако је макар упознат са оним што је у току Другог светског рата учинио немачки индустријалац Шиндлер. Он је поседовао фабрике посуђа које су радиле добро до почетка рата, када је та фабрика постала радионица за прављење оружја. Шиндлер је као индустријалац био и изузетан менаџер. Његове амбиције за новцем нису прерасле у похлепу која је често обузимала многе који су били у оваквим пословима. И поред тога, због квалитетног рада зарађивао је сасвим пристојан новац. Рат је оваквим људима омогућио бесплатну или врло јефтину радну снагу, а са друге стране, довољно квалификовану, па је сваки индустријски посао био исплатив.

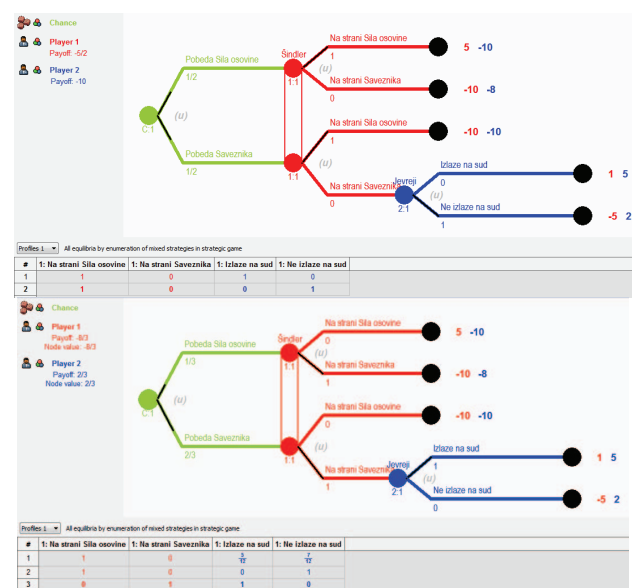
Шиндлер се у једном тренутку током рата нашао у дилеми коме да се приклони, Силама осовине или савезницима, а на његову одлуку утицала је процена ко ће бити победник на крају рата. Уколико остане на губитничкој страни, изгубиће не само имовину и новац, већ врло вероватно и живот, или ће му се судити због помагања непријатељу.

Дата ситуација може се моделирати као игра са непотпуним информацијама, тзв. Бајесова игра. На слици 5 дато је стабло игре под претпоставком да су шансе за победу две стране изједначене. Исход рата није био познат у тренутку када Шиндлер бира свој потез, а имао је на располагању два: да се тајно наклони савезницима или да остане уз Рајх. Уколико је наклоне савезницима, гледаће да поштеди Јевреје, због чега може да сноси последице и током и након завршетка рата (исплата -10). Уколико би био на страни Рајха, Јевреји не би имали чему да се надају, али би зато у случају победе Рајха, Шиндлер зарадио (исплата 5). Сличним резонувањем дате су и остале исплате. С друге стране, Јевреји само у једном случају могу да напусте фабрику, и тада могу да одлуче да ли ће или не да помогну човеку који је њима помогао.

Зависно од процене вероватноће ко ће победити, мења се и решење игре. Наиме, у случају да је уверење Шиндлера да су шансе 50% да победе савезници, доминантна стратегија је да буде на страни Сила осовине. Очекиване исплате Шиндлера и Јевреја су -5/2 и -10 респективно (Слика 5а). У случају да су шансе 2/3 у корист победе Савезника, ситуација се мења и сада Шиндлер има више еквилибријума (Слика 5б). У једном остаје уз Силе осовине, док у другом приступа савезницима након чега Јевреји стају уз његову одбрану (уколико Савезници победе). Очекиване исплате Шиндлера и Јевреја су у овом случају -8/3 и 2/3 респективно.

У неком тренутку у току самог рата, Шиндлер је одлучио да уместо да настави са производњом оружја, почне да откупљује раднике и пружа им протекторат под изговором да се у фабрици производи оружје. Ово

је представљао врло ризичан потез јер није могао да зна како ће се завршити рат, али такве су одлуке честе у време криза.



Слика 5: Стабло игре са непотпуним информацијама а) претпоставка о изједначеним вероватноћама победе б) већа вероватноћа победе савезника

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ анализе филмова који садрже елементе теорије игара био је да се покаже њена присутност у свакодневном животу. Филм Шиндлерова листа је показао како правилно сагледавање ствари омогућава свима да извуку корист из одређене ситуације, што је и сама поента еквилибријума.

Сви наведени примери воде до истог закључка, а то је да сви људи сваки дан учествују у пуно игара, без обзира да ли су тога свесни или не. Међутим, разумевање концепата теорије игара их ставља у повољнији положај посебно када играју против оних који је разумеју и служе се њом. Познавање концепата теорије игара пружа стратешку предност у интеракцији са другим људима и омогућава остварење циљева.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Myerson, M.R., *Game Theory: Analysis of Conflict*, Harvard University Press, Cambridge, 1991.
- [2] Gintis, H., *The bounds of reason: Game theory and the unification of the behavioral sciences*, Princeton University Press, 2009.
- [3] Kuzmanović, M., "Model nekooperativnog strateškog ponašanja oligopola baziran na teoriji igara i Conjoint analizi", Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2011.
- [4] Stojanović, B., *Teorija igara: elementi i primena*, Institut za evropske studije, 2005.
- [5] Schelling, T. C., *The Strategy of Conflict*, Harvard university press, 1980.
- [6] Dixit, A., Skeath, S., *Games of Strategy*. W.W. Norton & Company, New York, 2004.



FUZZY DELPHI ПРИСТУП ИЗБОРУ КРИТЕРИЈУМА ЗА ОДАБИР ПРОЦЕЊИВАЧА ЗА ПРОЦЕНУ ПЕРФОРМАНСИ ВОЗАЧА ВОЈНИХ МОТОРНИХ ВОЗИЛА

FUZZY DELPHI APPROACH TO SELECTION CRITERIA WHEN CHOOSING ASSESSORS FOR EVALUATING MILITARY MOTOR VEHICLES DRIVERS' PERFORMANCE

ВЕСКО ЛУКОВАЦ

Универзитет одбране, Војна академија, lukovacvesko@yahoo.com

ДРАГАН ПАМУЧАР

Универзитет одбране, Војна академија, dramucar@gmail.com

МИЛЕНА ПОПОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, milenap@fon.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду је развијен модел за избор критеријума за одабир проенјивача у процесу процене перформанси возача војних моторних возила. Модел је заснован на fuzzy Delphi приступу. Неизвесности су описане лингвистичким исказима који су моделирани fuzzy бројевима. Модел је конципиран тако да узима у обзир значај-тежину доносилаца одлука и хомогеност њихових индивидуалних fuzzy преференција. Дистанце између fuzzy бројева који су били предмет анализе одређене су примјеном vertex методе.

Кључне речи: fuzzy Delphi pristup, процењивачи, процена перформанси, возачи војних моторних возила.

In this paper is developed model to the selection criteria when choosing assessors for evaluating military motor vehicles drivers' performance. Model is based on fuzzy delphi approach. The uncertainties are described by linguistic expressions which are modeled by fuzzy numbers. The model is designed to take into account significance-weight of decision makers and the homogeneity of their individual fuzzy preferences. Distance between fuzzy numbers that were the subject of the analysis were assessed using vertex method.

Keywords: Fuzzy Delphi approach, assessors, performance evaluation process, drivers of military motor vehicles.

1. УВОД

За избор лица којима се може дати улога процењивача приликом процеса процене перформанси запослених на располагању су бројне могућности. Процењивач, у принципу, може бити свако лице које познаје и прати процес рада [1]. Дефинисање критеријума за избор лица којима треба доделити улогу процењивача у процесу процене радних перформанси возача војних моторних возила је био главни циљ истраживања приказаног у овом раду. Основна хипотеза се заснивала на тврдњи да потенцијалне процењиваче треба бирати узимајући у обзир више критеријума, као и да је fuzzy Delphi метода погодан алат за дефинисање истих [2]. Рад заједно са уводом и закључком чини 5 секција. У другој секцији рада под називом "Delphi метода" описана је класична Delphi метода и начин њеног спровођења. Трећа секција рада је "Fuzzy логика" у оквиру које је описан појам fuzzy скупа и основна правила аритметике са троугаоним fuzzy бројевима. У четвртој секцији рада под називом "Fuzzy Delphi алгоритам за потврду ваљаности предложених изборних критеријума", приказан је предложени алгоритам за спровођења fuzzy Delphi методе, као и резултати

спроведеног истраживања. У "Закључку"–петој секцији овог рада, указано је на кључне доприносе спроведеног истраживања и правце будућих истраживања.

2. DELPHI МЕТОДА

Delphi метода се сматра најважнијом методом интуитивног предвиђања, а име је добила по чувеном светишту старих Грка где је пророчица Питија смишљала двосмислена пророчанства. Метода се заснива на статистичкој обради прикупљених мишљења, добијених анкетањем експерата за одређено подручје. Метода се спроводи са изабраним скупом експерата (E_1, E_2, \dots, E_n) , у онолико кругова колико је потребно да одступање од средње вредности обрађених одговора буде занемарљиво. Број експерата према препорукама из литературе обично се креће од 15 до 20. Након добијања одговора од свих учесника из првог круга врши се њихова статистичка обрада, која подразумева израчунавање средње вредности, стандардне девијације и коефицијента варијације. Информације о одговорима целе групе достављају се експертима у материјалу за други круг, тако да експерти имају при-

лике да своје прогнозе промене или задрже. Одговори се поново сакупе и обраде на исти начин као у претходном кругу. Овај поступак се понавља све док средње вредност $i+1$ -вог круга не покажу незнатна одступања од средњих вредности i -тог круга (најчешће не више од 5 кругова) односно док вредност коефицијента варијације не спадне на задовољавајући ниво. Тада се констатује да је добијен прихватљив степен консензуса чиме се процес завршава.

Већину прикупљених података применом класичне Delphi методе карактерише висок степен неизвесности и субјективизма. Веома погодан алат за експлоатацију неизвесности и субјективности је фази логика.

3. FUZZY ЛОГИКА

Појам расплутуог–fuzzy скупа, потпуно супротан појму традиционалног аристотоловог скупа, уводи Zadeh 1965 године. Сваки fuzzy скуп је одређен функцијом припадности и доменом. Облик функције припадности сваког fuzzy скупа одређен је на основу субјективне процене доносилаца одлука, и зависи од њиховог концептуалног знања, интуиције, искуства. У литератури се највише користе троугаони и трапезоидни fuzzy бројеви за моделовање било које врсте неизвесности. Коришћење ових fuzzy бројева не захтева сложена математичка израчунавања, а, с друге стране, тачност добијених резултата је сасвим задовољавајућа. У овом раду су за моделовање неизвесности коришћени троугаони fuzzy бројеви (ТФБ). Основне операције над ТФБ–а дефинисане су у [3]. Ако разматрамо два ТФБ–а $\tilde{A} = (l_1, m_1, r_1)$ и $\tilde{B} = (l_2, m_2, r_2)$, алгебарска правила која важе за ова два ТФБ–а су:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \quad (1)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (l_1 - r_2, m_1 - m_2, r_1 - l_2) \quad (2)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, r_1 * r_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A} : \tilde{B} = (l_1 : r_2, m_1 : m_2, r_1 : l_2) \quad (4)$$

$$k * \tilde{A} = (k * l_1, k * m_1, k * r_1), k = const \quad (5)$$

$$\tilde{A}^{-1} = (l_1, m_1, r_1)^{-1} = \left(\frac{1}{r_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right)$$

Дефазификација је поступак којим се одређује скаларна вредност која на најбољи начин репрезентује fuzzy скуп. Постоји више метода дефазификације, а који ће бити коришћен зависи од доносиоца одлуке и његовог знања и искуства.

4. FUZZY DELPHI АЛГОРИТАМ ЗА ПОТВРДУ ВАЉАНОСТИ ПРЕДЛОЖЕНИХ ИЗБОРНИХ КРИТЕРИЈУМА

Неопходност да се Delphi метода побољша увођењем неизвесних података уведена је у радовима [4,5]. Данас постоје многи радови у којима је развијена fuzzy Delphi метода (у даљем тексту ФДМ). У [6] је разматран проблем контроле квалитета услуга у железнич-

ком саобраћају помоћу ФДМ–а. У [7] је разматран проблем селекције одговарајућих технологија са респектовања 14 критеријума. Агрегирање релативне важности критеријума је одређено помоћу ФДМ–а. У [8] развијен је ФДМ за одређивање релативне важности пословних циљева. Према овом моделу сваки доносилац одлуке врши директну процену важности пословних циљева на сваком хијерархијском моделу. Потом се рачуна средња вредност мишљења групе која је на основу правила алгебре такође описана ТФБ–а. Такође се рачунају и fuzzy дистанце између средњег мишљења групе од fuzzy бројева којима су описани унапред дефинисани лингвистички искази. На основу ове информације доносиоци одлуке у првој итерацији коригују своје процене. Сматра се да се консензус мишљења постиже у другој итерацији ФДМ–а.

У највећем броју приказаних радова аутори сматрају да критеријум према коме се постиже стабилност ФДМ–а је број итерација. У [9] аутори сматрају да разлика измеђи fuzzy бројева две узастопне итерације за разматрану ставу не треба да буде већа од 0.2. У овом раду је за проверу ваљаности предложених критеријума за избор процењивача у процесу процене перформанси возача војних м/в развијен ФДМ који узима у обзир значај (тежину) доносилаца одлука (у даљем тексту ДО) и хомогеност њихових исказаних fuzzy преференција. Истраживање је спроведено тако што су са експертском групом коју су сачињавала двадесеторица официра саобраћајне службе ВС (у даљем тексту ЕКСГ) спроведена два круга анкете. У првом кругу анкете експерти су предлагали критеријуме којима би се требало водити при одабиру процењивача. Резултати првог круга анкете су синтетизовани у 3 такозвана изборна критеријума (познавање посла који возачи обављају, што бољи увид у посао који возачи обављају и објективност–непристрасност приликом процена процене) а ваљаност предложених изборних критеријума је у другом кругу анкете тестирана помоћу предложеног fuzzy delphi алгоритма који се састоји из 6 следећих корака:

- (1) За сваки од предложених изборних критеријума, доносиоци одлука се одређују за један од 6 попуњених одговора који су описани лингвистичким исказима (аналогно [10]) преко ТФБ–а. Домени ових ТФБ–а су дефинисани на Saaty–јевој скали мера [11]. Вредност 1, односно вредност 9 означава најмању односно највећу вредност променљивих. У табели 1 приказани су домени ових ТФБ–а.

Табела 1: Лингвистички искази ФДМ–а

ЛИНГВИСТИЧКИ ИСКАЗИ	ТФБ
Уопште се не слажем (УОН)	(1,1,2,5)
Умерено се не слажем (УМН)	(1.5,3,4,5)
Благо се не слажем (БЛН)	(3,4,5,6)
Благо се слажем (БЛС)	(4,5,5,7)
Умерено се слажем (УМС)	(5.5,7,8,5)
Потпуно се слажем (ПОС)	(7.5,9,9)

- (2) Приступа се агрегацији fuzzy процена доносилаца одлука (ДО) према изразу:

$$\tilde{A} = (l_a, m_a, r_a) = \left\{ \begin{array}{l} l_a = \sum_{i=1}^n l_i \alpha_{Ei} \\ m_a = \sum_{i=1}^n m_i \alpha_{Ei} \\ r_a = \sum_{i=1}^n r_i \alpha_{Ei} \end{array} \right\}, i=(1, \dots, n) \quad (7)$$

где је:

- –агрегирана fuzzy процена;
- l_a – лева граница агрегиране fuzzy процене;
- –вредност у којој функција припадности агрегиране fuzzy процене има највећу вредност тј., $m_a = 1$;
- – десна граница агрегиране fuzzy процене;
- n – број експерата;
- –нормализована тежина i –тог експерта;

- (3) Израчунава се дистанца (d^+) између агрегиране fuzzy процене и ТФБ–а којима су моделовани лингвистички искази. Дистанца се рачуна помоћу vertex метода развијеног у [12] према изразу:

$$d_i^+ = \sqrt{\frac{1}{3} * [(l_a - l_i)^2 + (m_a - m_i)^2 + (r_a - r_i)^2]} \quad (7)$$

где је:

- i –индекс лингвистичког исказа из табеле 1, $i=(1, \dots, 6)$;

- (4) Приступа се другој итерацији ФДМ–а уз претходно упознавање ДО са резултатима прве итерације ФДМ–а.
- (5) Израчунава се дистанца између агрегираних фази процена у две узастопне итерације:

$$d^+ = ((l_{a+1}, m_{a+1}, r_{a+1}), (l_a, m_a, r_a)) \quad (8)$$

Ако је вредност дистанце између агрегираних фази процена у две узастопне итерације мања од 0.2 (аналогно [9]) може се сматрати да је постигнут консензус ДО.

- (6) Врши се дефазификација индивидуалних fuzzy процена из друге итерације ФДМ–а и разматра њихова хомогеност на Saaty–јевој скали, преко односа средње вредности, стандардне девијације и коефицијента варијације:

$$Std.Deviation < \frac{Mean}{3}; CVariance < 30\% \quad (9)$$

Ако је задовољен и услов хомогености индивидуалних fuzzy процена ДО, сматра се да је постигнут потпуни консензус и процес се завршава. У супротном, процес се понавља.

Према предложеном алгоритму за спровођење ФДМ–а приступило се провери ваљаности предложених критеријума за одабир процењивача у процесу процене перформанси возача војних м / в. Консензус је постигнут у другој итерацији ФДМ–а. Fuzzy преференције ДО из друге итерације ФДМ–а приказане су у табели 2.

Табела 2: Fuzzy преференције ДО у II итерацији ФДМ

EKSG	K ₁	K ₂	K ₃	(α_E)
1.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0543
2.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0455
3.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0454
4.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0472
5.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0455
6.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0455
7.	(5.5,7,8.5)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0453
8.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0560
9.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0583
10.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0461
11.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0497
12.	(5.5,7,8.5)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0512
13.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0563
14.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0546
15.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0514
16.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0487
17.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0547
18.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0477
19.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0506
20.	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	0.0459
□	(7.3,8.8,8.9)	(7.5,9,9)	(7.5,9,9)	1

Тежине ДО су добијене нормализацијом њихових коефицијената компетенције. Поступак утврђивања коефицијента компетенције ДО приказан је у [2]. Вредности прорачунатих дистанци између агрегираних фази процена у другој итерацији ФДМ–а и ТФБ–а којима су моделовани лингвистички искази, приказане су у табели 3.

Табела 3: Дистанце у другој итерацији ФДМ–а

ЛИНГВИСТИЧКИ ИСКАЗИ	K ₁	K ₂	K ₃
Уопште се не слажем	6.888	7.036	7.036
Умерено се не слажем	5.393	5.545	5.545
Благо се не слажем	3.908	4.062	4.062
Благо се слажем	2.926	3.082	3.082
Умерено се слажем	1.498	1.658	1.658
Потпуно се слажем	0.160	0.000	0.000

Из табеле 3 се види да је вредност дистанце за сва три критеријума, након друге итерације ФДМ–а најмања за лингвистички исказ "потпуно се слажем". Како у другој итерацији није дошло до промене мишљења ДО у односу на прву итерацију, вредност дистанце између агрегираних фази процена прве и друге итерације ФДМ је 0 по свим критеријумима, а што указује на консензус ДО. Дефазификација отежаних fuzzy преференција ДО извршена је градираним методом интеграције средина (Graded Mean Integration Representation) према изразу:

$$\text{defuzzy } \tilde{A} = (l_1 + 4m_1 + r_1) / 6 \quad (10)$$

Средња вредност (Mean), стандардна девијација (Std. Deviation) и коефицијент варијансе (C. Variance) отежаних дефазификованих вредности fuzzy преференција су прорачунавате помоћу софтвера IBM SPSS Statistics 22.0 и приказане су у табели 4.

Табела 4: Статистички показатељи ФДМ–а

ПОКАЗАТЕЉИ	K ₁	K ₂	K ₃
Mean	0.4291	0.4375	0.4375
Std. Deviation	0.0474	0.037	0.037
C. Variance	11%	8%	8%

Из табеле 4 се види да је за сва три предложена критеријума испуњен услов хомогености одређених fuzzy преференција ДО. Пошто су задовољена оба услова за завршетак ФДМ–а, може се констатовати да постоји потпуна сагласност ДО по питању ваљаности предложених критеријума за одабир процењивача у процесу процене перформанси возача војних м/в.

5. ЗАКЉУЧАК

Резултати спроведеног ФДМ–а потврдили су полазну хипотезу да процењиваче у процесу процене перформанси возача војних м/в треба бирати узимајући у обзир више критеријума. ФДМ, такође, омогућава брже, комплетније, флексибилније и реалније моделирање процеса доношења одлуке у односу на класичан Delphi модел. Развијени ФДМ, узимајући у обзир значај–тежину доносилаца одлука и хомогеност њихових индивидуалних fuzzy преференција доприноси већој стабилности коначне одлуке. Предложени ФДМ је општег карактера па је као такав применљив за решавање сличних проблема у различитим областима. У циљу надоградње предложеног ФДМ–а, правце даљих истраживања би требало усмерити на увезивање ове технике са неком од метода вишекритеријумског одлучивања у условима неизвесности, чији резултати би били полазна основа за спровођење приказаног ФДМ–а.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Noe, A. R., Hollenbeck, R. J., Gerhart, B., Wright M. P., *Менаџмент људских потенцијала*, треће издање, МАТЕ д.о.о, Загреб, 2006.

- [2] Lukovac, V., Pamučar, D., Gigović, Lj., *AHP group decision making: example of selecting evaluators for evaluation of performance of military motor vehicles drivers*, SymOrg 2016, Zlatibor, 2016.
- [3] Dubois, D., Prade, H., *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, London, UK: Academic press, INC (LONDON) LTD, 1980.
- [4] Murry, T.J., Pipino, L.L., Van Gigch, J.P., A pilot study of fuzzy set modification of Delphi, *Human Systems Manage* 5, 1985.
- [5] Ishikawa, A., Amagasa, M., Shinga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., Mieno, H., The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration, *Fuzzy Sets and systems* 55, 1993.
- [6] Wu, K.Y., *Applying the Fuzzy Delphi Method to Analyze the Evaluation Indexes for Service Quality after Railway Re-Opening-Using the Old Mountain Line Railway as an Example*, Proceedings of the 15th WSEAS international conference on Systems, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) Stevens Point, Wisconsin, USA, 2011.
- [7] Chang, P-L., Hsu, C.W., Chang, P.C., Fuzzy Delphi Method for evaluation hydrogen production Technologies, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (21), 2011.
- [8] Tadić, D., Pravdić, P., Arsovski, Z., Arsovski, S., Aleksić, A., Ranking and managing business goals of manufacturing organizations by Balanced scorecard under uncertainties, *Technics Technologies Education Management*, 2013.
- [9] Cheng, C.H., Lin, Y., Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation, *European Journal of Operational Research*, 142, 2002.
- [10] Kashdan, B.T., The assessment of subjective well-being (issues raised by the Oxford Happiness Questionnaire), *Personality and Individual Differences* 36, 2004.
- [11] Saaty, T.L., *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [12] Chen, M.F., Tzeng, G.H., Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting and expatriate host country, *Mathematical and Computer Modelling*, 40, 2004.



МЕТОДОЛОГИЈА СИНЕРГИЈСКИ ИНТЕГРИСАНОГ ТИМА – СИСТЕМСКИ ПРИЛАЗ ГРУПНОМ ОДЛУЧИВАЊУ

METHODOLOGY OF TEAM SYNTEGRITY – A SYSTEMS APPROACH TO GROUP DECISION-MAKING

ДЕЈАНА ЗЛАТАНОВИЋ

Економски факултет Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, dejanaz@kg.ac.rs

Резиме: Све већа комплексност и разноврсност одлука у савременим предузећима указују на потребу за применом одговарајућих холистичких инструмената у процесу одлучивања. Предмет истраживања у раду је *Методологија синергијски интегрисаног тима (МСИТ)*, као релевантни системски прилаз групном одлучивању. МСИТ је заснована на геометријској структури икосаедра, која пружа смернице за организовање дискусије и креирање ефективног дијалога, чиме се омогућава демократско и ефективно одлучивање. Упркос томе, МСИТ не може да обезбеди ефикасну имплементацију донетих одлука, што представља важно ограничење ове методологије. Сходно томе, одговарајуће је важности њено комбиновање са неким другим системским методологијама, методима или моделима (на пример, са кибернетским ССО моделом).

Кључне речи: *Групно одлучивање, Системски прилаз групном одлучивању, Методологија синергијски интегрисаног тима*

Abstract: Growing complexity and diversity of decisions in contemporary enterprises indicate the need for applying the appropriate holistic tools in decision-making. The topic of the paper is *Methodology of Team Syntegrity (MTS)*, as a relevant systems approach to group decision-making. MTS is based on the geometry of the icosahedron that represents a guide to organizing the discussion and producing the effective dialogue. Therefore, this methodology enables democratic and effective decision-making. Despite this, MTS cannot enable efficient implementation of decisions, which is important limitation of this methodology. Accordingly, of relevant importance is combined use of MTS with some other systems methodologies, methods or models (e.g. using MTS in combination with cybernetic Viable System Model).

Keywords: *Group Decision-making, Systems Approach to Group Decision-making, Methodology of Team Syntegrity*

1. УВОД

У ширем смислу, процес доношења одлука се често поистовећује са процесом решавања проблема и обулата скуп активности које топ менаџери и чланови организације, тј. релевантни *stakeholder*-и предузимају од тренутка формулисања проблема до тренутка њиховог решавања [1, стр. 15]. Будући да је реч о веома комплексном, динамичном, интерактивном и вишезначном систему, од релевантног значаја су одговарајуће системске методологије, као холистички инструменти подршке процесу одлучивања у савременим предузећима.

Предмет истраживања у раду је *Методологија синергијски интегрисаног тима (МСИТ)*, као еманципаторни системски прилаз групном одлучивању, настао као одзив на неке мањкавости кибернетског Модела система способног да опстане (ССО модела). За разлику од ССО модела који акценат ставља на унапређење ефикасности, МСИТ омогућава ефективан дијалог између различитих виђења релевантних *stakeholder*-а,

односно истиче предности укључивања различитих *stakeholder*-а у процесу дефинисања и решавања релевантних организационих проблема. Циљ је показати начине на које ова системска методологија може помоћи менаџерима у процесу групног одлучивања. Кључна хипотеза је да примена МСИТ-а омогућава целовито разумевање и унапређење ефективности групног одлучивања у предузећима.

У разматрању одређеног предмета истраживања, у раду је, сходно прецизираном циљу и постављеној хипотези, коришћено, пре свега, системско мишљење - релевантан научни инструментаријум конципирања, проучавања и решавања различитих проблема у предузећима, а у циљу прецизирања посебних и појединачних одређења истраживаних феномена, коришћен је аналитички научни метод. Такође, као релевантни методи истраживања у друштвеним наукама, коришћени су методи индукције и дедукције, а у одређивању закључака, научни метод синтезе. Респектујући наведено, у раду су, након увода, представљене теоријске основе на којима се темељи

МСИТ, а затим специфицирана кључна методолошка одређења и могућности коришћења ове методологије. На основу тога, идентификована су нека од важних ограничења МСИТ-а, као релевантног системског прилаза групном одлучивању.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Као одзив на критике ССО модела, развијена је МСИТ која подржава нехијерархијско, партиципативно и ефективно одлучивање. Кључна сврха примене ове методологије је да се унапреди ефективност одлука кроз: генерисање високог нивоа партиципације између појединаца који су тангирани неким проблемом; обезбеђивање нехијерархијске структуре и система комуницирања; коришћење разноврсности и богатства знања којим располаже сваки члан групе, као и знања генерисаног њиховим међусобним интеракцијама; креирање колективне свесности и консензуса око централног питања које је предмет разматрања [2, стр. 203-204; 3, стр. 217].

Аналогно геометријској структури *икосаедра*, као примера структуре која репрезентује нехијерархијску уређеност, S. Veer је развио одговарајући модел организације [4]. Реч је о моделу организације, која кроз дискусију и тензије, тј. конфликте који при томе настају, покушава да искаже свој интегритет, формулисањем заједничке, усклађене тврдње о одређеном проблему, питању или теми која је предмет разматрања. Сходно томе, да би се разумела теорија која лежи у основи МСИТ-а, потребно је укратко прецизирати следећа својства икосаедра [4, стр. 282-83]: Реч је о полиедру који има 20 страна, односно 20 правилних троуглова, 30 ивица, тј. дужи и 12 темена, при чему свако теме повезује пет дужи. Ако се овај полиедар посматра као организација, свака ивица представља појединца или партиципанта који учествује у процесу доношења одлука, што значи да укупно има 30 партиципаната. Затим, ако се свако теме посматра као група која дискутује, постоји 12 група и 60 чланова групе. Дакле, сваки од тридесеторо партиципаната припада двама различитим групама, али двоје партиципанта не могу истовремено бити чланови истог тима. Уколико су дискусије на одговарајући начин уређене, требало би да настане тзв. 'одјек' или 'ехо'. Овај феномен настаје услед тога што виђења која потичу од једне групе у дискусији добијају и губе присталице, консолидујући се и мењајући се, чиме се обезбеђује максимална креативност и генерише синергија.

За разумевање МСИТ-а, важна је идеја критика упућених сваком од тимова. Наиме, тензија створена сваком критиком балансира се тако што се члан тима који прима критику одређује за критичара неког другог тима чији није члан. Пошто је сваки партиципант два пута критичар, постоји укупно 60 критичара, који су распоређени кроз 12 тимова. Односно, сваки петочлани тим има још 5 пет квази чланова који су по дефиницији критичари [5, стр. 238]. Сходно томе, МСИТ представља релевантан холистички инструмент подршке нехијерархијском групном одлучивању, који омогућава партиципантима да се суоче са комплексношћу

индивидуалних интеракција [6, стр. 1057]. МСИТ, у ствари, обезбеђује одговарајући протокол комуницирања, тј. скуп процедура дизајнираних тако да обезбеде максималну предност из својстава *икосаедра*, као и да омогуће да учесници имају исти статус. Дакле, информације се дистрибуирају на такав начин да се успоставља равнотежа између конфликта, тј. тензија и синергије, у ситуацијама када групе преговарају о различитим питањима. Заправо, МСИТ функционише на "основу математичког принципа уз помоћ ког су интеракције у некој групи између апсолутне ригидности и хаоса" [7, стр. 67].

3. МЕТОДОЛОШКА ОДРЕЂЕЊА

Ова методологија се најчешће примењује кроз следеће фазе [5, стр. 239; 8, стр. 121-122]: иницијална сесија, састављање агенде, избор теме, исход дебате, завршна сесија. Процес примене МСИТ-а најчешће траје пет дана, а почиње иницијалном сесијом у којој треба постићи сагласност о почетном питању, тј. проблему или тзв. генералној теми која је предмет дискусије. На основу тога се бирају партиципанти који су тангирани датим проблемом и који би требало да имају различите перспективе о почетном питању (на пример, представници различитих региона, етничких група, година, пола и статусних група). Након избора, партиципанти се фокусирају на генерисање агенде која ће им помоћи у бављењу почетним питањем. Реч је о дванаест тема о којима ће се дискутовати, а које представљају одређене аспекте или димензије почетног питања или проблема, тј. представљају одређене подтеме генералне теме дискусије [9, стр. 87].

У фази избора теме партиципанти се алоцирају у различите групе према својим преференцијама. Од појединаца се тражи да рангирају теме, а често се користи и алгоритам како би се осигурао највиши ниво сагласности, уз респектовање ограничења која намеће структура полиедра. Сходно томе, постоји 12 тимова од којих сваки развија једну од тема и састоји се од 5 чланова и 5 критичара [5, 239].

Фазе дискусије о изабраној теми и исход процеса се састоје од серије састанака већ дефинисаних група. Сваки од тридесеторо појединаца има две улоге: улогу партиципанта, тј. дискусанта коју обавља у две групе дефинисане ивицама полиедра и улогу критичара коју обавља у две групе дефинисане ивицама са супротне стране полиедра. Групе партиципаната у дискусији о било којој подтеми се називају тимовима. Дискусанти у свакој групи настоје да своје размишљање о неком проблему искажу кроз тзв. 'коначне тврдње'. Међутим, осим ове улоге, сваки појединац ће учествовати и у дискусији о још две подтеме у улози критичара. Критичар је особа која помаже члановима тима да постану свесни оних питања о којима нису дискутовали адекватно, и самим тим помаже да се обогати дискусија. Критичари треба да се понашају као тзв. 'ђавољи адвокати' тако што тестирају сваку постигнуту сагласност у групи, преиспитивањем претпоставки које леже у основи сваке сагласности. Исто тако, сваки партиципант ће присуствовати дискусији о

друге две подтеме, али само као посматрач. Члановима тима је потребна одређена логистичка подршка коју обезбеђују организатори. Део ове подршке су и тзв. 'олакшивачи' чија је улога да сви партиципанти и критичари имају подједнаке могућности да учествују, као и да сумирају закључке до којих се дође кроз дискусију, али не и да утичу на садржај саме дискусије [10, стр. 29; 11, стр. 410].

Имајући у виду да је сваки партиципант истовремено члан четири различита тима (као партиципант и као критичар), они се могу посматрати као канали за дифузију информација који брзо шире информације око различитих тимова. Тако се ствара жељени 'одјек' или тзв. 'ехо ефекат', који омогућава да сви чланови тима имају информације о осталима, захваљујући структури *икосаедра*. На тај начин, идеје се враћају партиципантима у другачијем и унапређеном облику, чиме се обезбеђује идентификација најважнијих проблема и питања, као и конвергенција различитих перспектива и схватања критичних питања која су предмет разматрања [6, стр. 1058].

На завршној сесији, као последњој фази процеса примене МСИТ-, тимови представљају своје 'коначне тврдње', које треба да добију генерално одобрење свих партиципаната. Од тимова се, такође, тражи да процене читав догађај и методологију, сопствено учење и искуство, као и искуство осталих партиципаната. Осим тога, могу бити направљени планови за наредне састанке или деловања [5, стр. 240]. Као подршка овој методологији, развијени су одређени методи и технике, попут метода који помаже у састављању агенде или софтвера којим се одређују чланови тима. Такође, постоје и новије верзије ове методологије засноване на информационо-комуникационим технологијама [12].

Неке компаније су се специјализовале за примену МСИТ-а (на пример, *Team Syntegrity International Inc.* или *Malik Management Zentrum St. Gallen*) у различитим врстама организација и постоје бројне примене, упркос томе што је реч о релативно новој методологији. Нека од подручја успешне примене МСИТ-а су: процеси планирања на универзитетима, политехничким институтима, болницама; спровођење организационих промена у банкама; стратегијски менаџмент у индустријским предузећима; регионално и планирање локалних заједница; реорганизација политичких странака; припрема мировних преговора; екологија; семинари и радионице са студентима и истраживачима [13, стр. 58-59]. Екстензивна употреба ове методологије је показала да је реч о методологији која је посебно корисна за подржавање тимског рада у процесу планирања, иновација и процесу усвајања знања, као и за интегрисање имплицитног знања и искуства појединца који раде на решавању неког проблема или питања које је од општег значаја [10, стр. 30].

4. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ МСИТ-А

Методологија синергијски интегрисаног тима представља ефикасан инструмент обезбеђивања правог де-

мократског дијалога, промовишући правичност и неутралишући штетне утицаје које моћ и хијерархија могу имати на дискусију [5, стр. 248]. У том смислу, предности МСИТ-а могу бити специфициране на следећи начин [14, стр. 8-9]: дискусија структурирана око дванаест аспеката неке генералне теме се одвија кроз одговарајућу мрежу интеракција и кроз само-координацију, чиме се креира усклађен и свобухватан генерални план деловања без конфликтних циљева; такође, унапређују се информациони токови; примена МСИТ-а омогућава креирање нехијерархијске и организације која учи; једноставност процеса, која произилази из чињенице да не постоје неки посебни захтеви ни за партиципанте ни за модераторе. Разлика у односу на остале прилазе групном одлучивању се огледа у томе што се партиципанти на јединствен начин групишу око одређених тема, чиме се стварају веома хетерогене групе, које често остају заједно и ван формалних састанака. На тај начин, ова методологија доприноси јачању тимског духа, упркос широкој разноликости партиципаната [11, стр. 410].

Критичари пак сматрају да, без обзира на наведене предности, примена МСИТ-а не може гарантовати имплементацију донетих одлука [14, стр. 9]. Наиме, крајњи резултат синергијске интегрисаности би требало да буде слагање и обавезаност партиципаната ономе што је усвојено, а што је структурирано око 12 питања или тема које репрезентују разумевање и искуство партиципаната повезаног са почетним питањем. Примена ове методологије продукује климу која подржава промене и резултира деловањем, али креира и партиципанте који критички, активно уче. Ипак, да би се стварно имплементирали и институционализовали резултати синергијске интегрисаности тима, потребно је методологију користити у комбинацији са другим системским прилазима, посебно у комбинацији са кибернетским ССО моделом [6, стр. 1059]. Такође, ограничења произилазе из саме методологије која подразумева да тридесеторо партиципаната у пет дана дискутује о дванаест тема, што захтева пуно ресурса и ефикасну логистичку подршку. При томе, одговарајуће је важности и начин на који мотивисати партиципанте да штеде време и остале ресурсе [15, стр. 254]. Иако су учињени одређени напори да се повећа флексибилност кроз алтернативне протоколе засноване на другим геометријским дизајнима, ефективност ових алтернатива тек треба истражити.

Други вид критика се односи на то да, упркос томе што МСИТ може да обезбеди демократску интеракцију, не може да утиче на садржај дебате која се одвија. Из тог разлога, одговарајуће је важности комбинована употреба ове методологије са неким интерпретативним системским прилазима, као што је Методологија *софт* система [6, стр. 1059]. Дакле, уколико је погрешно интерпретирано сазнање наметнуто партиципантима, онда ће такво сазнање само поново добити легитимитет, иако се процес одвија у форми демократског дијалога. Исто тако, МСИТ претпоставља да партиципанти поседују исти капацитет да уђу у дијалог, а важна претпоставка је и да партиципанти улазе

у дијалог зато што желе да постигну сагласност. Међутим, треба истаћи да постоје појединци који кроз дијалог у ствари настоје да поразе опоненте. У том смислу, дијалог је "једноставно другачији облик борбе за моћ" [5, стр. 249].

Сходно наведеном, може се закључити да МСИТ акценат ставља на питања присиле, успостављајући правила која омогућавају демократску партиципацију у одлучивању, што значи да ова методологија припада еманципаторној системској парадигми [5; 16]. МСИТ не обезбеђује инструменте за предвиђање и контролу понашања комплексних адаптивних система, због чега је критикују присталице функционализма. Разликује се од интерпретативних системских прилаза по томе што више пажње посвећује форми него садржају дискусије [6, 1058]. Ипак, најозбиљније критике се МСИТ-у упућују од стране присталица постмодернизма који промовишу различитост, уместо тежње да се постигне сагласност [5, стр. 249].

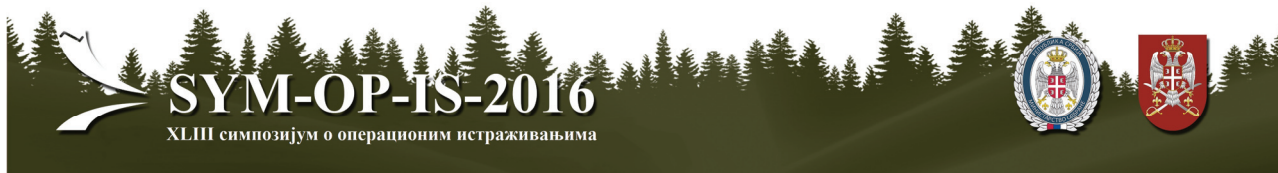
5. ЗАКЉУЧАК

Из свеукупних разматрања у раду може се закључити да МСИТ подржава партиципативно и демократско одлучивање, тако што интегрише различита знања и искуства партиципаната, али подстиче и конструктивни конфликт настао услед вишеструких виђења партиципаната. Дакле, ова методологија омогућава целовито разумевање и унапређење ефективности групног одлучивања у предузећима, тј. организацијама, чиме је потврђена кључна хипотеза у раду. Ипак, наведене мањкавости упућују на закључак да МСИТ треба користити у комбинацији са неким другим системским прилазима, како би се олакшала имплементација одлука.

Допринос рада се огледа у истраживању једне од еманципаторних системских методологија, која се бави релевантним питањима у савременом *systems* и *management science*-у, повезаним са односима моћи и присиле у процесима решавања проблема и доношења одлука у предузећима. Заправо, у теоријско-методолошком смислу, спроведено истраживање је омогућило идентификовање одговарајућих претпоставки, начина, домета и ограничења примене МСИТ-а, као еманципаторног системског прилаза групном одлучивању. Практичне импликације спроведеног истраживања односе се на специфицирање начина на које инструменти МСИТ-а могу помоћи менаџерима у целовитом разумевању и унапређивању процеса групног одлучивања у предузећима. Међутим, важно ограничење је што у раду није приказана примена ове методологије у предузећу. У том смислу, од релевантног је значаја истражити могућности примене ове методологије у предузећима у Републици Србији, што представља основу за будућа истраживања.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Čupić, M. i V. Tumala, *Savremeno odlučivanje, metode i primena*, Univerzitet Braća Karić, Beograd, 1994.
- [2] Pérez-Ríos, J., *Design and Diagnosis for Sustainable Organizations: The Viable System Method*, Springer, Heidelberg, 2012.
- [3] Martín-Cruz, N., Martín-Pérez, V., Pérez-Ríos, J. M. i I. Velasco-Jiménez, "Team Syntegrity® as a Tool for Efficient Teamwork: An Experimental Evaluation in a Business Simulation", *Systems Research and Behavioral Science*, 31 (2) (2014), 215-26.
- [4] Beer, S., *Beyond Dispute – The Invention of Team Syntegrity*, John Wiley and Sons, Chichester, 1994.
- [5] Jackson, M. C., *Systems Thinking: Creative Holism for Managers*, John Wiley and Sons, New York, 2003.
- [6] Espinosa, A. i R. Hardnen, Team syntegrity and democratic group decision making: theory and practice, *Journal of Operational Research Society*, 58 (8) (2007) 1056-64.
- [7] Espinosa, A. i J. Walker, *A Complexity Approach to Sustainability: Theory and Application*. Imperial College Press, London, 2011.
- [8] Schwaninger, M., *Intelligent Organizations – Powerful Models for Systemic Management*. Springer, Berlin, 2006.
- [9] Pfifner, M. "Team Syntegrity –Using Cybernetics for Opinion-Forming in Organizations", in *MOM Malik Management*, 5(9/01) (2001) 75-97.
- [10] Mejía, A. D. i A. Espinosa, "Team Syntegrity as a Learning Tool: Some Considerations About its Capacity to Promote Critical Learning", *Systems Research and Behavioral Science*, 24 (1) (2007), 27-35.
- [11] Leonard, A., "Team syntegrity: A New Methodology for Group Work", *European Management Journal*, 14 (4) (1996) 407-13.
- [12] Pérez-Ríos, J. i I. Velasco-Jiménez, "The application of organizational cybernetics and ICT to collective discussion of complex issues", *Kybernetes*, 44 (6/7) (2015) 53-65.
- [13] Schwaninger, M. "A Cybernetic Model to Enhance Organizational Intelligence", *Systems Analysis Model Simulation*, 43 (1) (2003) 53-65.
- [14] Pfifner, M., "From workshop to Syntegration®: The genetic code of effective communication", in *MOM Malik Management*, 10/04 (2004) 1-10.
- [15] Holmberg, S. C., "Team Syntegrity Assessment", *Systems Practice*, 10(3) (1997) 241-54.
- [16] Jokonya, O., "Towards an Emancipatory Systems Approach for IT Adoption in Organizations", *MWA-IS 2016 Proceeding*, 2016, Paper 17.



СТРАТЕГИЈСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ ГЛОБАЛНОГ МУЛТИКАНАЛНОГ ТРЖИШТА МАЛОПРОДАВАЦА

STRATEGIC POTENTIAL OF RETAIL GLOBAL MULTICHANNEL MARKET

ЈЕЛЕНА КОНЧАР

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет Суботица, koncarj@ef.uns.ac.rs

ЗИТА ПЕТРОВИЋ КАТАИ

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет Суботица, petrovickzita@ef.uns.ac.rs

Резиме: Глобализација тржишта доприноси интернационализацији пословања кроз развој мултиканалних стратегија. Конкурентска позиција електронске малопродаје се развија под утицајем електронске интеграције између чланова канала маркетинга. Иновативне измене структуре канала маркетинга везују се за мултиканалне стратегије пласмана. Глобално електронско тржиште ствара нове учеснике у каналима маркетинга који су прилагођени новим мултиканалним стратегијама глобализације. Интерактивно комуницирање на глобалном електронском тржишту подразумева размену информација уз помоћ нових технологија, а то захтева испитивање стопе приноса на инвестиције (ROI) за потребе електронске малопродаје.

Кључне речи: глобализација, мултиканалност, електронска малопродаја, интерактивност, ROI

Summary: Globalization of markets contributing to the internationalization of business through the development of multichannel strategy. Competitive position of electronic retailing is evolving under the influence of electronic integration between marketing channel members. Innovative marketing channel structure changes are linked to the multichannel marketing strategies. The global electronic market creates new participants in marketing channels that are adapted to the new multichannel strategies of globalization. Interactive communication in the global electronic market involves the exchange of information, and this requires an examination of the rate of return on investment (ROI) for the electronic retailing.

Key words: globalization, multichannelity, electronic retailing, interactivity, ROI

1. УВОД

Будућност електронске малопродаје лежи у развоју виших облика сарадње на трајнијој и стабилнијој основи, јачањем производне кооперације и специјализације трансфера технологије, заједничким улагањем у финансије и научно-технолошку сарадњу, како би се подстакле мултиканалне стратегије на глобалном нивоу. Глобална електронска малопродаја захтева флексибилност и усклађеност са различитим групама купаца при on-line куповини. Многе методе доприносе анализи стратегијског потенцијала електронске малопродаје, као што су: SWOT анализа, анализа вредносног ланца, методологија критичних фактора успеха и стопа приноса на инвестиције (ROI).

Многобројна питања се постављају за решавање мултиканалних стратегија, како би се обезбедио

стратегијски потенцијал електронске малопродаје на глобалном електронском тржишту:

- Који су предуслови стратегије електронске малопродаје у електронским интеграцијама?
- Како стопа приноса на инвестиције (ROI) за потребе електронске малопродаје доприноси остварењу увећаног профита?

Одговори на наведена питања мултиканалних стратегија електронске малопродаје везују се за могућности пословања у било које време, са било ког места, по рационалним трошковима. Глобално електронско тржиште је процес комплексног стратегијског одлучивања сходно постављеним димензијама глобалног пословања електронске малопродаје [1]. Web глобализација мора бити конзистентна са мултиканалном стратегијом, како би се заштитила приватност и пер-

соналне информације на глобалном електронском тржишту.

2. ПРЕДУСЛОВИ СТРАТЕГИЈЕ ЕЛЕКТРОНСКЕ МАЛОПРОДАЈЕ У ЕЛЕКТРОНСКИМ ИНТЕГРАЦИЈАМА

Дефинисање успешне стратегије електронске мало-продаје почиње са идентификовањем могућности и ризика у пословању трговинских организација. У току анализе треба посебну пажњу обратити на праћење окружења посебно у домену сагледавања потреба и захтева потрошача што захтева формулисање стратегије и планирање њене примене. Процес стратегијског планирања има четири основне фазе [2]: иницијалну, формулације, имплементације и процене.

Један од основних предуслова за спровођење планирања и примене електронске мало-продаје је приступ кроз општу методологију. Општа методологија обухвата следеће основне фазе [3]:

- анализа делатности конкуренције;
- формулисање стратегије;
- примена (имплементација) стратегије и
- процена извршења стратегије.

Анализа делатности конкуренције обухвата истраживање, вредновање и селекцију информација из екстерног и интерног окружења мало-продајне организације. Ова фаза има за циљ да идентификује кључне факторе за успех електронске мало-продаје. Једна од метода која доприноси анализи стратегијског потенцијала електронске мало-продаје је SWOT анализа. Преко ове анализе идентификују и сагледавају се снаге, слабости, претње и могућности успешности електронске мало-продаје.

Следећи предуслов је формулисање стратегије по основу резултата спроведене анализе и делатности конкуренције. У овој фази дефинишу се дугорочни стратегијски и развојни планови. За успех електронске мало-продаје потребно је дефинисати које циљеве жели да оствари мало-продајна организација на глобалном електронском тржишту.

Пословне стратегије електронских мало-продаваца могу бити конкурентне и кооперативне. Конкурентна пословна стратегија претпоставља наступ у односу на остале конкуренте на глобалном електронском тржишту, како би се обезбедио опстанак мало-продајне организације. Ове стратегије најчешће су планиране као офанзивне или дефанзивне.

Офанзивна пословна стратегија најчешће се остварује кроз напад на позицију конкуренције, нападајући организације које делују на конкуренцију. Ова пословна стратегија изискује изузетно високе трошкове. Други вид офанзивне стратегије остварује се у ситуацијама када се полази право са фронталним напа-

дом дела тржишта где је конкуренција најслабија. Дефанзивна стратегија своди се на заузимање места у склопу текуће позиције како би се обезбедила одбрана од могућих напада конкуренције. Дефанзивним стратегијама смањује се краткорочна профитабилност пословања а са друге стране долази се до повећања дугорочне профитабилности. Приликом опредељења за кооперативне стратегије електронске трговине на глобалном тржишту остварују се конкурентске предности на основу кооперације са другим компанијама на тржишту. Кооперативне стратегије најчешће се остварују стратегијским савезима кроз заједничких улагања и партнерстава.

Методологија критичних фактора може да послужи организацијама у фази формулисања стратегије. Критични фактори успеха (CSF) везани су за пословне, технолошке и кадровске факторе који у великом степену доприносе остваривање постављених циљева глобалне електронске мало-продаје: стање и тржишна позиција конкуренције, коњунктурна кретања на тржишту, техничка инфраструктура за потребе електронске мало-продаје, софтверска подршка, сигурност електронских трансакција, однос између купца и продавца, поверење у електронског продавца, интерактивност, трошкови пројекта електронске мало-продаје, итд.

Непрестани развој технологије је разлог који поспешује мултиканалну мало-продају и стварање нових канала маркетинга. Најважнији чиниоци експанзије на тржишту глобалне мултиканалне мало-продаје су употреба савремених технолошких уређаја као што су паметни телефони и таблет рачунари, друштвене мреже, иновације у мобилној технологији и дигитализација оглашавања. Мало-продајне организације које се определе за мултиканалну мало-продају могу бити велика конкурентска претња другим компанијама које нису развиле пласман на мало преко више канала. Оне мало-продавце који не примењују мултиканалну стратегију неки купци доживљавају као заостале.

Комбинујући неколико канала купци су у могућности боље искористити позитивне аспекте канала који су им на располагању и уједно и избећи њихове недостатке. Тиме је могуће да се скрати време које је потребно за обављање куповине, да се једноставније пронађу што повољније цене и омогућен је лакши увид у ставове других купаца о појединим производима и услугама. Конвенционални продавци на мало су приморани долазити до стратегија која ће у погледу висине цена обезбедити профит као и задовољити купца. Са тог аспекта неопходна је анализа вредносног ланца која обухвата серију активности са којима мало-продајне компаније остварују постављене циљеве пословања.

Један од предуслова успешности глобалне мултиканалне стратегије јесте и разматрање трошкова и ризика везаних за пројекте електронске мало-продаје. У неком моменту инвестирани ресурси морају резултирати приносима [4]. Искуства развијених земаља по-

казују да иницијативе везане за глобалну електронску малопродају у великом броју случајева представљају генератор прихода, али са друге стране не стварају нова тржишта и не доприносе остваривању увећаног профита. У том циљу неопходно је приступити испитивању стопе приноса на инвестиције (ROI). Приликом рачунања ROI потребно је установити однос прихода и издатака од имплементације новог пројекта електронске малопродаје.

3. СТОПА ПРИНОСА НА ИНВЕСТИЦИЈЕ (ROI) ЗА ПОТРЕБЕ ЕЛЕКТРОНСКЕ МАЛОПРОДАЈЕ

ROI у електронској малопродаји је однос трошкова финансијске инвестиције и прихода по основу електронске малопродаје на пројекту за генерисање бенефиције.

Један метод који се користи за мерење ROI у електронској малопродаји је приступ Каплана и Нортонa. Овај приступ балансира опипљиве финансијске и нематеријалне перспективе. Ови аутори се залажу за приступ предностима у следеће четири области [5]:

- финансијско - мерење раста прихода, продуктивности и активне;
- потрошач - обухвата тржишни удео, стицање и задржавање купаца, продужење задовољства корисника, избор сегмента потрошача, итд.;
- интерне активности - као што су иновације у производима и услугама, оперативна ефикасност, боље управљање ланцем вредности;
- учење и развој - ова питања се односе на људске и културне аспекте организације као што је побољшање корпоративног знања, ниво задовољства послом, лични раст и задовољство запослених.

Моголон и Рашингани користе следећу методологију за израчунавање стопе приноса инвестиција у апликацијама електронске малопродаје [6]:

- утврдити интерне и екстерне трошкове имплементације и одржавања постојеће и нове апликације електронске малопродаје;
- израчунати уштеде између тренутног процеса и новог процеса и додати користи у продуктивности и ефикасности. Све уштеде треба да буду мерљиве;
- израчунати ризик примене апликације електронске малопродаје и одредити цену за специфичне апликације електронске малопродаје;
- израчунати нето садашњу вредност;
- упореди садашњу вредност очекиваног новчаног тока са потребним издацима. Ако садашња вредност апликације електронске малопродаје новчаног тока превазилази трошкове пројекат треба да буде реализован. У супротном, пројекат треба одбацити.

С обзиром на чињеницу да се информационе технологије и технологије електронске малопродаје јако брзо мењају, ROI у апликацијама електронске малопродаје обично се рачуна за 3 године. Сходно томе, формула је следећа [6]:

$$ROI = \frac{\text{Трошкови садашњег процеса} - \text{Трошкови новог процеса} + \text{Остале бенефиције по години} \cdot X}{\text{Почетна инвестиција} - \text{Годишњи трошкови рада и одржавања} \cdot X} \cdot \frac{1}{3}$$

(1)

У случају да се користи метод нето садашње вредности, формула би била следећа [6]:

$$ROI = \frac{\text{Трошкови садашњег процеса} - \text{Трошкови новог процеса} + \text{Остале бенефиције}}{\text{Почетна инвестиција} - \text{Годишњи трошкови рада и одржавања}} \cdot \frac{1}{3}$$

(2)

где је: ROI=стопа приноса на инвестиције,
NPV=нето садашња вредност.

Код трошкова садашњег и новог процеса најчешће се узимају у обзир следећи трошкови: трошкови израде пројекта, трошкови организације ИТ (информационе технологије) одељења за потребе апликације електронске трговине, трошкови зарада програмера, трошкови платформе електронске малопродаје, трошкови додатног хардвера, трошкови додатног софтвера, трошкови развоја новог софтвера, трошкови одржавања софтвера, трошкови обуке запослених, трошкови промоције нове апликације електронске малопродаје, итд.

Рачунањем стопе приноса на инвестиције за потребе електронске малопродаје неке трговинске компаније узимају у обзир само оне варијабле чија вредност може да се мери у новцу, док друге организације узимају у обзир и оне варијабле чија вредност не може да се изрази у новчаним јединицама. Те варијабле у претходној формули су сврстане под осталим бенефицијама.

Приликом рачунања ROI у електронској малопродаји најчешће се узимају у обзир следеће мерљиве бенефиције: раст обима продаје, смањење оперативних трошкова пословања, раст обима производње, итд. Извесни проблеми приликом рачунања ROI у електронској малопродаји јављају се код рачунања оних бенефиција које не могу да се мере у новчаним јединицама. Разлог ових могућих проблема најчешће се своди на недостатак информација.

Није лако одредити на пример следеће бенефиције чија вредност не може да се мери новцем: повећана сатисфакција потрошача, успешније задржавање потрошача на Web страници глобалног електронског малопродавца, повећан приступ глобалним потрошачима, повећана продуктивност на реаговање потрошачких рекламација, скраћено време за продор на нова тржишта, скраћено време за увођење нових производа, побољшан know-how менаџмента, адекватнији канали маркетинга, побољшана свесност

марки, већи обим расположивих информација о производима и услугама, побољшана комуникација између купца и продавца, побољшана продуктивност, итд. Одређивање ових немерљивих бенефиција приликом рачунања ROI у електронској малопродаји изискује велике напоре од менаџмента малопродајних организација.

Након израчунатог ROI-а поставља се питање да ли треба да се реализује нови пројекат електронске малопродаје и при којој стопи приноса на инвестиције се исплати пројекат за електронског малопродавца.

4. ЗАКЉУЧАК

Глобално мултиканално тржиште поставља нове услове малопродавцима који су приморани због конкуренције традиционалних и савремених канала маркетинга да се суоче са неким питањима која се односе на дефинисање успешне стратегије наступа на тржишту. Кључни циљ глобалних мултиканалних трговаца на мало је проширити оквире тржишта у географском и временском смислу. Овај циљ они остварују кроз анализу окружења, анализу конкуренције и дефинисање одговарајуће стратегије наступа на тржишту. Успех или неуспех сваког новог пројекта мора да се мери. ROI је погодан показатељ за вредновање пројекта електронске малопродаје јер користи такве показатеље до којих менаџери у малопр-

одаји могу лако доћи. Међутим, потребно је пратити показатеље и током реализације пројекта електронске малопродаје, јер промена трошкова пројекта може да резултира да крајњи резултат буде различит од планираног ROI-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кончар, Ј.: *Менаџмент малопродаје*, друго измењено и допуњено издање, Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, Суботица, 2015.
- [2] Turban E., King D., Lee J., Liang T.-P., Turban D., *Electronic Commerce 2012, A Managerial and Social, Networks Perspective*, Pearson, 2012.
- [3] Кончар, Ј.: *Електронска трговина*, Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, Суботица 2008.
- [4] Palmatier R. W., Stern L. W., El-Ansary A. I.: *Marketing Channel Strategy*, eighth edition, Pearson, 2015.
- [5] Bandyopadhyay, N.: *E-Commerce, Context, Concepts and Consequences*, McGraw-Hill Companies, 2002.
- [6] Mogollon, M.: Raishinghani, M.: Measuring ROI in e-business: A practical approach, *Information Systems Management*, 20 (2), (2003) 63-81.



ОПТИМАЛАН ПЛАН РАСПОРЕЂИВАЊА РАДНИКА СА РОТИРАЊЕМ ЛОКАЦИЈА И ПОСЛОВА

OPTIMAL WORKFORCE SCHEDULLING PLAN WITH LOCATIONS AND TASKS ROTATING

МАЈА ХАЏИХМЕТОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, hadziahmetovic.maja@fon.bg.ac.rs

МИЊА МАРИНОВИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, marinovic.minja@fon.bg.ac.rs

ДРАГАНА МАКАЈИЋ НИКОЛИЋ

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, makajic-nikolic.dragana@fon.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду је представљен проблем распоређивања запослених који обављају различите послове на различитим локацијама. Овакав проблем може представљати велики изазов зато што за сваку организацију постоје различити услови рада који се морају поштовати а тичу се радних дана, смена, активности и задатака које је потребно обавити, неопходног броја запослених и њихових квалификација. Такође, свака држава поседује другачије законске регулативе које се тичу радних сати као и броја дана предвиђених за одморе и државне празнике. Међутим, независно од тога да ли запослени припадају руководству или оперативном менаџменту, немају сви запослени исте вештине и нису расположиви свакога дана и у свакој смени. Све наведено може довести до проблема распоређивања којим се овај рад бави. Представљен је оригинални математички модел који је решен применом целобројног програмирања у циљу максимизације квалификација запослених за обављање додељених активности, као и узимања у обзир њихове преференције према локацијама на којима могу радити и потреба самих локација.

Кључне речи: распоређивање кадрова, оптимизација, целобројно програмирање.

Abstract: In this paper a scheduling staff problem where employees can be assigned to different locations and perform different tasks is presented. This problem can be quite challenging because for each organization there are different conditions regarding working days, shifts, activities which need to be done, the number of staff required and their qualification. Also, each country has different regulation laws regarding the working hours, days meant for holidays and vacations. However, not all staff members, whether they are managers or operative employees possess all of the required skills, and they cannot be available at all times which can bring to the scheduling problem. This paper deals with such problem, introducing an original mathematical model used to maximize employee qualifications when performing given activities, as well as taking into account employees' preferences towards given locations. The problem is formulated and solved using integer programming model.

Keywords: staff scheduling, optimization, integer programming.

1. УВОД

Распоређивање особља представља процес којим организација прави, односно додељује, радне распореде својим запосленима тако да може да задовољи тражњу за својим производима или услугама. Први део овог процеса укључује одређивање броја запослених, а затим додељивање смена одређеном броју радника [1]. Како би сваки од запослених у различитим временским периодима имао одређену дужност, односно задатак који је потребно испунити, постоје услови који се морају поштовати како унутар организације, тако и ван ње, попут прописа у вези са радним правом и обавезама послодавца и радника.

Изузетно је тешко пронаћи прихватљиво решење за овакав тип проблема и још теже одредити оптимално решење које ће минимизирати трошкове, задовољити преференције запослених, дистрибуирати смене једнако међу запосленима и задовољити сва ограничења која се тичу самог радног места. У многим организацијама, људи који су задужени за распоређивање морају имати подршку у виду софтверских алата како би могли, на што бољи начин да остваре задате циљеве наспрам датих ограничења.

Проблем распоређивања особља се јавља у педесетим годинама XX века. Интересовање за ову област се наставља до данас, иако се сам проблем знатно разликује од првобитног Данциговог (*Dantzig*) и Едијевог

(*Edie*) проблема који се односио на кашњење саобраћаја на наплатним станицама [2, 3]. Једну од првих метода класификације проблема распоређивања запослених предложио је Бејкер (*Baker*), који је представио три типа проблема распоређивања запослених [4]. Први тип обухвата распоређивање по сменама (*shift scheduling*), други тип се односи на распоређивање по слободним данима (*days off scheduling*), док трећи тип представља комбинацију прва два типа (*tour scheduling*). Алфарес (*Alfares*) [5] предлаже десет категорија по којима је могуће распоређивати кадрове: (1) ручно проналажење решења, (2) целобројно програмирање, (3) имплицитно моделирање, (4) декомпозиција, (5) циљно програмирање, (6) фазе генерације и имплементације, (7) линеарно програмирање, (8) итеративни метод, (9) метахеуристике, (10) друге методе. Данас се проблем распоређивања особља може поделити према области пословања, при чему се највећи број објављених научних радова фокусира на распоређивање особља запослених у авио компанијама, распоређивање медицинског особља, као и распоређивање оператера у контакт центрима као релативно новији вид распоређивања запослених. Акбари (*Akbari*) [6] се бавио распоређивањем кадрова са различитим степеном стручности за одређене послове као и њиховој доступности, продуктивности, приоритетима у одабиру послова, броју потребних радника за активности као и поштовању предности старијих радника. Агралли, Ташкин и Унал (*Ağralı, Taşkın i Ünal*) [7] разматрају проблем распоређивања кадрова са флексибилном доступношћу радника и променљивом потражњом за активностима. Сваки радник припада одређеној категорији у односу на вештине које поседује и његову стручност за посао који је потребно обавити. Аутори у раду [8] су се одлучили да уместо стандардног приступа код распоређивања кадрова где се или оптимизује смањење трошкова ангажовања запослених или максимизира степен успешности обављања посла баве са оба приступа истовремено. Хаџиахметовић и Мариновић [9] су се у свом раду бавили распоређивањем различитих категорија радника на више врста активности, на неколико локација и у више термина у току једног дана.

У овом раду је приказан оптималан распоред запослених који обављају различите послове, при чему могу радити на више локација. Распоред је базиран на седмичном нивоу при чему постоје смене по којима се формира радни распоред.

Структура рада је организована на следећи начин: Након уводног дела, Поглавље 2 приказује опис самог проблема, док се у Поглављу 3 приказује формулација математичког модела и коришћена нотација. Закључна разматрања и план будућег истраживања су приказани у Поглављу 4.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

У овом раду је приказан проблем одређивања оптималног распореда запослених који могу бити квалификовани за обављање различитих послова и могу радити на више локација. Квалификациона структура се

састоји од руководиоца који су у потпуности квалификовани за обављање свих послова, оперативног особља, као и почетника који тек треба да стекну вештине и знање потребно за обављање различитих активности у организацији. Циљ је распоредити запослене сходно њиховим квалификацијама како би на најбољи могући начин обављали задате дужности, као и узети у обзир њихове преференције према датим локацијама у смислу удаљености од посла, дужине путовања и сл. Овај модел може бити погодан за организације које се базирају на ланцима ресторана (најчешће брзе хране) с обзиром да овакав тип организација има више расположивих локација и послова који захтевају различите вештине запослених.

Распоред се формира на недељном нивоу при чему су сви дани у недељи радни и запослени могу радити у једној од три смене на дневном нивоу (пре подне, после подне и ноћна смена). Води се рачуна да сваки запослени у току радне седмице ради највише пет радних дана, односно да буде ангажован у највише пет смена, док се остатак смена додељује по потреби. Такође се узима у обзир да запослени немају више од две ноћне смене у току радне седмице и да уколико је запосленом на одређени дан додељена ноћна смена не би требало да буде ангажован читавог следећег дана.

С обзиром да је овакав тип проблема погодан за раднике који су запослени у ланцима ресторана брзе хране, претпоставља се да постоји више локација на којима се ови ресторани налазе и да сви запослени могу радити на свим локацијама. Неопходно је такође да у свакој смени и на свакој локацији постоји бар један радник са искуством, односно руководиоца који поред посла који му је додељен у одређеној смени и локацији треба да пружи помоћ осталим запосленим са мање искуства као и да надгледа остале раднике. Тежи се томе да се локације доделе радницима сходно њиховим преференцијама, односно најближе локације у односу на место становања запосленог. Такође је потребно водити рачуна о минималном броју радника потребних за обављање сваке од активности на свакој локацији и у свакој смени свакога дана, уз претпоставку да нису сви радници увек расположиви због најављених или изненадних изостанака попут боловања или одмора.

3. ФОРМУЛАЦИЈА МОДЕЛА

Приликом формулисања математичког модела коришћена је нотација приказана у наставку:

Скупови:

I – скуп свих радника, $i \in I$

I_r – скуп искусних радника, $I_r \subset I$

J – скуп послова које треба обавити, $j \in J$

K – скуп локација, $k \in K$

S – скуп смена, $S = \{1, 2, 3, \dots, 21\}$

S_n – скуп ноћних смена, $S_n \subset S$

S_p – скуп смена у p -том дану, $S_p \subset S$, $\cup S_p = S$, $S_p \cap S_q = \emptyset$, $p, q = 1 \dots 7$

Управљачка променљива је дефинисана на следећи начин:

$$x_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{уколико је } i\text{-ти радник ангажован на } j\text{-ом послу} \\ & \text{на локацији } k \text{ у смени } s \\ 0, & \text{у супротном} \end{cases}$$

Матрицом B је приказана расположивост i -тог радника у s -тој смени. Елементи матрице B су:

$$b_{is} \begin{cases} 1, & \text{уколико је } i\text{-ти радник расположив у } s\text{-тој смени} \\ 0, & \text{у супротном} \end{cases}$$

Параметром a_{ij} се дефинише погодност сваког радника за обављање одређеног посла. Вредност овог параметра може бити реалан број између 0 и 1 где 1 означава потпуну погодност i -тог радника за j -ту активност, док 0 означава да одређени радник није нимало погодан за обављање задатог посла. Параметар a се може приказати на следећи начин: $a_{ij} \in [0,1]$

Параметар c_{ik} приказује преференције запосленог према датим локацијама. Овај параметар такође има вредност између 0 и 1, при чему 1 означава најпогоднију локацију према i -том раднику, док вредност 0 значи да раднику одређена локација нимало не одговара. Параметар c се може приказати на следећи начин: $c_{ik} \in [0,1]$

Математички модел распоређивања запослених на различите послове, локације и смене је формулиран на следећи начин:

$$\max p_1 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} a_{ij} x_{ijk} + p_2 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} c_{ik} x_{ijk}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} x_{ijk} \leq 5, \quad i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S_n} x_{ijk} \leq 2, \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq b_{is}, \quad i \in I, s \in S \quad (3)$$

$$m_{ijk} \leq \sum_{i \in I} x_{ijk} \leq ma_{ijk}, \quad j \in J, k \in K, s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S_p} x_{ijk} \leq 1, \quad i \in I, p = 1 \dots 7 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \geq 1, \quad k \in K, s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(\sum_{l=1}^3 x_{ijk(s+l)} \right) \leq 1, \quad i \in I, s \in S_n \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K, S \in \{1,2,3,\dots,21\}$$

Функцијом циља се максимизира погодност i -тог радника за обављање j -ог посла, као и његова преференција према одређеној локацији на којој обавља задати посао. Параметри p_1 и p_2 представљају тежинске коефицијенте за ове критеријуме респективно. Ограничење (1) обезбеђује додељивање највише пет смена у току радне седмице сваком раднику. Ограничење (2) спречава додељивање више од две ноћне смене i -том раднику у току једне

радне седмице. Ограничењем (3) се обезбеђује додељивање смене само расположивим радницима. Ограничењем (4) се обезбеђује ангажовање одређеног броја радника који мора бити већи или једнак од параметра m_{ijk} који се односи на минимални број радника у свакој смени као и мањи или једнак од параметра ma_{ijk} који се односи на максимални број радника у свакој смени, локацији и послу који је потребно обавити. Петим ограничењем се омогућава додељивање само једне смене у току радног дана, док се шестим ограничењем додељује бар један радник са искуством на свакој локацији и у свакој смени без обзира на посао који му је додељен. Ограничење (7) онемогућава ангажовање i -тог радника у било којој смени уколико је додељена смена претходног дана била ноћна.

У реалној примени приказаног модела, неопходно је консултовати експерте да процене тачне вредности тежинских коефицијената p_1 и p_2 одговарајућом методом. Такође постоји могућност ангажовања експерата за процену вредности параметара m_{ijk} и ma_{ijk} из разлога што је циљ овог модела максимизација, те постоји могућност да се додели и више радника за одређени посао него што је заиста у одређеној смени и на датој локацији потребно.

У почетним експериментима, приказани математички модел је тестиран на фиктивном проблему који је обухватао четири локације, три врсте послова који је требало распоредити. Тежински коефицијенти p_1 и p_2 су имали вредност 0.7 и 0.3 респективно из разлога што је са аспекта организације важније да распореди више квалификоване раднике на потребне локације. Математички модел тестираног примера је имао 18900 променљивих и 3288 ограничења. Модел је успешно решен коришћењем GNU *Linear Programming Kit* (GLPK) [10], софтвера за решавање проблема линеарног и мешовитог целобројног програмирања. Извршавање је трајало 76 секунди на рачунару са следећим спецификацијама: Intel(R) Core (TM) i7-2600 CPU (3.40 GHz), RAM 12 GB.

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је приказан проблем распоређивања радника који могу радити различите послове на различитим локацијама у три смене и за постављени проблем је формулисан оригиналан математички модел. Предност овог модела је што постоји могућност да се на почетку сваке седмице промене само улазни подаци о расположивости радника и евентуалне промене преференција према локацијама и сваки пут је могуће добити ново оптимално решење. Недостатак је свакако, због природе самог проблема, могућност појављивања проблема допустивости.

Што се тиче будућих истраживања, фокус би требало да буде на састављању месечног плана распоређивања, као и приказ проблема на реалном примеру из праксе, при чему је могуће увести и трошкове као додатни критеријум што би довело до проблема више-

критеријумске оптимизације. У овом случају би требало водити рачуна и о различитим коефицијентима за дневне и ноћне смене као и данима за време државних и верских празника. Уколико би се распоред састављао на овај начин постоји могућност и ажурирања вештина запослених на крају сваког месеца претпостављајући да постоји могућност да су у том временском периоду стекли нове вештине или побољшали постојеће. На овај начин се свакако тежи томе да ће у неком тренутку сви радници бити компетенти да обављају све задате послове. Међутим, пракса је показала да је овакав тип посла (рад у ресторану брзе хране, на бензиским станицама, пекарама исл.) најчешће сезонског карактера и да се радници често мењају, у да константно пристижу нови радници које треба обучавати. У овом случају потребно је дорадити постојећи модел како би се и радници који имају погодност једнакој нули такође распоређивали у циљу стицања нових знања и вештина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27.
- [2] Dantzig, G. B. (1954). Letter to the Editor-A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths". *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(3), 339-341.
- [3] Edie, L. C. (1954). Traffic delays at toll booths. *Journal of the operations research society of America*, 2(2), 107-138.
- [4] Baker, K. R. (1976). Workforce allocation in cyclical scheduling problems: A survey. *Operational Research Quarterly*, 155-167.
- [5] Alfares, H. K. (2004). Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature. *Annals of Operations Research*, 127(1-4), 145-175.
- [6] Akbari, M., Zandieh, M., Dorri, B. (2012). Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64, 1017-1027.
- [7] Ađrali, S., Tařkın, Z. C., Ünal, A. T. (2016). Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. *Omega*. In press.
- [8] Castillo, I., Joro, T., & Li, Y. Y. (2009). Workforce scheduling with multiple objectives. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 162-170.
- [9] Hadžiahmetović, M., Marinović, M. (2016). Optimal heterogeneous staff scheduling in case of planning a special event. *XV International symposium SYMORG 2016*
- [10] GNU *Linear Programming Kit* GLPK (2016). Презеро са <http://www.gnu.org/s/glpk>



УНАПРЕЂЕЊЕ МАЛОГ И СРЕДЊЕГ ПРЕДУЗЕТНИШТВА КРОЗ СТРАТЕГИЈУ ДИРЕКТНОГ МАРКЕТИНГА

IMPROVEMENT SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES THROUGH A STRATEGY OF DIRECT MARKETING

МИЛАН МАРТИЋ

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, milan@fon.bg.ac.rs

ТИЈАНА ЈУГОВИЋ

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, tijana.jugovic91@gmail.com

МИЛИЦА КОСТИЋ-СТАНКОВИЋ

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, milicak@fon.bg.ac.rs

Резиме: У овом раду представљен је приступ за одабир оптималне групе купаца, према којој мало и средње предузеће треба да усмери своје активности директног маркетинга. За селекцију купаца је коришћена РФМ метода, а затим је формулисана математички модел избора критеријума и групе купаца. Приступ је илустрован на примеру предузећа које се бави продајом кафе и анализирани су најзначајнији интерни и екстерни фактори кој су утицали на лоше резултате пословања. Анализе и резултати наведеног прступа могу помоћи при избору између различитих могућности, указати на неке надолазеће догађаје на тржишту, како би предузеће ризик пословања svelo на минимум, остварило конкурентску предност и увећало профит, што је уједно и примарни циљ пословања у профитним предузећима.

Кључне речи: мала и средња предузећа, унапређење продаје, профитабилност, оптимизација.

Abstract: In this paper was presented an approach for the selection of the optimal group of customers to which small and medium enterprises should focus its direct marketing activity. For the selection of customers is used RFM method and then formulated a mathematical model choice criteria and customer groups. The approach is illustrated by the case of companies engaged in the sale of coffee and analyzes the most important internal and external factors which have contributed to the poor outcome of operations. Analysis and the results of that is accessed can help in choosing between different alternatives, to point out some upcoming events in the market, to enterprise business risk to a minimum, achieve competitive advantage and increased profits which is the primary objective of the business in profitable enterprises .

Key words: Small and medium-sized enterprises, sales promotion, profitability, optimizatin.

1. Увод

Убрзан развој сектора малог и средњег предузетништва и његово представљање као једног од најзначајнијих сегмената привреде, налази се међу значајним задацима транзиционе економије [2]. Флексибилност, величина, иновативности, специјализација су само неке од најважнијих карактеристика малих и средњих предузећа које омогућују лакше прилагођавање савременом пословном окружењу у коме је конкуренција све интензивнија, купци више инфор-

мисани, а производи све доступнији [6,7]. Један од кључних процеса који утиче на задовољство корисника, остварење конкурентске предности, могућности профилисања у тржишног лидера и остварење позитивних резултата пословања је избор адекватне маркетиншке комуникације са циљним групама [10]. Адекватност маркетиншке комуникације се односи на усклађеност са организацијом, производом или услугом, циљном групом и пословни окружењем.

Један од кључних маркетиншких инструмената, постоји којег је могуће остварити супериорне резултате

пословања у малим и средњим предузећима, је унапређење продаје. Овај инструмент маркетиншке комуникације у скорије време је добио заслужени третман у складу са својим значајем, док је раније коришћен само као нужно средство за елиминацију залиха или продавање неког неуспелог производа [4]. Током времена, разјашњено је да програм унапређења продаје може бити веома широк и комплексан, уључујући мноштво средстава и стратегија и да је неизоставна примена овог инструмента маркетиншке комуникације једнако као и осталих (оглашавање, лична продаја, тржишни односи с јавношћу, економски публицитет комуникацијске активности директног маркетинга). Унапређењем продај производима или услугама додаје се одређења екстра вредност, којом се скреће пажња на понуду, која по неким карактеристикама интересантнија и другачија од конкуренције [10]. Активности унапређења продаје могу бити усмерене ка дистрибутерима и ка потрошачима. Важно је одредити пема којим циљним групама ће предузеће усмерити активности унапређења продаје, а један од најчешће коришћених метода је RFM метод (*Recency*- skorašnjost kupvine; *Frequency*-учесталост куповине; *Monetary value*- новчани износ утрошен на куповину). [3, 5]

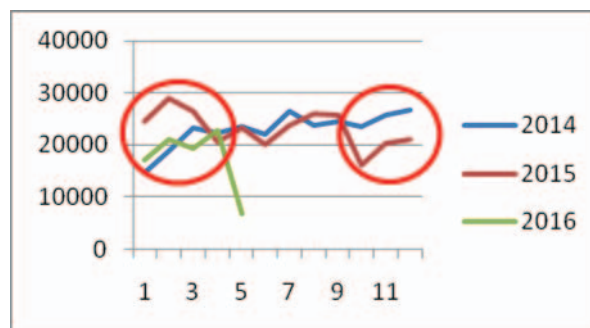
За сваког купца који се налази у бази података утврђује се вредност фактора R, F и M и на основу тога се оцењује сваки купац, а што је већа вредност тих фактора, то је купац привлачнији за предузеће. RFM метод се користи и за поређење потенцијала два купца и омогућује да се идентификују најпрофитабилнији купци за предузеће и на основу тога формирају одговарајуће активности за успостављање дугорочних односа са циљном групом. Разлог због којег се RFM метод сматра корисним и примењивим у малим и средњим предузећима на нашим просторима у планирању односа са купцима је то што његова примена не изискује велика улагања, једноставан је за употребу и обезбеђује веродостојну сегментацију. [3, 5]

2. Опис проблема

Фокус у овом раду стављен је на трговински сектор, примене RFM методе и оптимизације резултата пословања у складу са одређеним критеријумима (ограниченима). Кроз рад анализирано је пословање предузећа "X" чија је основна делатност увоз и продаја кафе. На основу базе података предузећа "X" у коме су забележени сви купци, датуми трансакција и вредност трансакција у последњих дванаест месеци, забележен је пад продаје и остварење лоших пословних резултата, што је приказано на слици 1. [11]

На основу слике 1 могу се уочити два одступања у продаји. Прво у периоду од јануара до марта месеца

2014, 2015. и 2016. године, а друго одступање од септембра до новембра месеца између 2014. и 2015. године, а тренд пада продаје је забележен у јануару 2016 године, након чега је уследио благи раст. На основу анализе интерних и екстерних података, закључено је да прво одступање настаје због лоше зимске туристичке сезоне у 2014. и 2016. године, у однос на 2015. годину, док друго одступање настаје због стимулације купаца кроз комерцијалне уговоре конкуренције и на тај начин пласирање новчаних подстицаја, на шта купци нису били имуни, а што се негативно одразило на резултате пословања посматраног предузећа. Због наведених проблема, извршене су детаљне анализе, избране одговарајуће маркетиншке активности, а конструкцијом математичког модела и применом RFM методе, идентификовани најпрофитабилнији купци и предложени правси развоја у будућности.



Слика 1. Анализа података предузећа "X" од 2014. до 2016. године.

3. Математички модел

Кроз ово истраживање је представљен јединствен сил, а то је максимизација профита посматраног предузећа, кроз уложена средства у унапређење продаје као најадекватније одабране маркетиншке активности, а одређени буџет за ову кампању је ограничен. Применом RFM методе сви купци су категорисани по критеријуму скорашњости, учесталости и фреквентности и добили осене од 1 до 5. У наставку рада формулисан је математички модел, али најпре је представљена нотација која је коришћена за параметре и управљачке променљиве [1].

- p_i - вероватноћа да ће купци из групе и реаговати на кампању, $i=1, \dots, 5$.
- V_i -просечан износ који троши купац из групе и, $i=1, \dots, 5$.
- C_i - просечни трошкови да се достигне купац из групе i , $i=1, \dots, 5$.
- N_i - број купаца у i груп, $i=1, \dots, 5$.
- $x_i=1$ ако кампању треба усмерити ка i -тој групи и $x_i=0$ ако кампању не треба усмерити ка i -тој групи, $i=1, \dots, 5$.

- $B = 100\,000$ буџет за кампању.

Коришћењем наведене нотације може се формулисати следећи математички модел:

$$\max \sum_{i=1}^5 N_i (p_i V_i - C) x_i \quad (1)$$

при ограничењима:

$$\sum_{i=1}^5 N_i C x_i \leq B, \quad B = 100\,000 \quad (2)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, 5.$$

Функција циља (1) максимизира профит посматраног предузећа. Израз (2) представља ограничење тј. одређени буџет кампање.

4. Резултати

Применом RFM методе сви купци предузећа "X" категорисани су на основу скорашњости (датума последње куповине), учесталости (колико често купују) и монетарне вредности (колика је вредност куповине) што је приказано у табелама 1, 2 и 3. У датим табелама вредности V_i и N_i представљене су предходном нотацијом. Вредност параметра p_i одређена је на основу интерних података који показују да су сви купци према којима је била усмерена активност унапређења продаје позитивно реаговали, те је у овом истраживању $p_i = 1$, при чему треба нагласити да се p_i увек креће у распону од 0 до 1. [1, 3, 5]

Табела 1. Оцена скорашњости (R)

Datum	Oцена	V_i	p_i	N_i
01-01-14	1	3629.596	1	52
30-06-15	2	2148	1	21
31-12-15	3	277.125	1	8
28-02-16	4	5675	1	20
30-04-16	5	14488.1	1	20

Табела 2. Оцена учесталости (F)

Učestalosti	Oцена	V_i	p_i	N_i
0	1	345.9032	1	62
3	2	931.5714	1	14
6	3	1040	1	4
9	4	14204	1	5
12	5	14712.72	1	36

Табела 3. Оцена монетарне вредности (M)

Вредност	Oцена	V_i	p_i	N_i
0	1	788.4054	1	37
50	2	1523.423	1	26
100	3	1192.833	1	6
150	4	3059.818	1	11
200	5	12920.27	1	41

На основу RFM методе, формулисаног математичког модела и буџетских ограничења добијени су резултати који показују која група купаца је нај-профитабилнија и према којој треба усмерити активности унапређења продаје као адекватног инструмента маркетиншке комуникације, што је представљено у табелама 4, 5 и 6.

Табела 4. Скала скорашњости (R)

	1	2	3	4	5
x_i	0	0	0	0.666667	1
трошак	0	0	0	40000	60000
профит	0	0	0	35666.67	229762

Према скали скорашњости, улагање ће се извршити у четврту и пету групу купаца, при чему ће улагањем у четврту групу предузеће забележити губитак од 4. 333,33 новчаних јединица, а улагањем у пету групу предузеће ће остварити профит од 169. 762 новчаних јединица.

Табела 5. Скала учесталости (F)

	1	2	3	4	5
x_i	0	0	0	0	0.925926
трошак	0	0	0	0	100000
профит	0	0	0	0	390424.1

Према скали учесталости, улагање ће се извршити у пету групу купаца, при чему је од уложених 100. 000 новчаних јединица у унапређење продаје остварен профит од 290. 424, 1 новчаних јединица.

Табела 6. Скала монетарне вредности (M)

	1	2	3	4	5
x_i	0	0	0	0	0.813008
трошак	0	0	0	0	100000
профит	0	0	0	0	330675.6

Према скали монетарне вредности, улагање ће се вршити такође у пету групу, при чему је од уложених 100. 000 новчаних јединица у унапређење продаје остварен профит од 230. 675,6 новчаних јединица.

Када се упореде све анализиране варијанте, може се закључити да је најбоље решење континуалног математичког модела за критеријум учесталости. По коме предузеће "X" има очекивани профит од 290. 424.1 новчаних јединица, а кампању усмерити на пету групу купаца који су купили 12 или више пута. Предузеће "X" се одлучило за избор унапређења продаје усмереног ка дистрибутерима као адекватног маркетиншког инструмента који је у потпуности усклађено са условима пословања, а такође био иновативан и различит у односу на активности конкуренције. Поклони и рекламни материјал односе се на специјално писане и дизајниране материјале и предмете који су дистрибутерима били корисни и

утицали на декорацију простора. У складу са наведеним анализама маркетиншке активности треба усмерити на постојеће купце и грађење дугорочних односа заснованих на међусобном поверењу, отворености, заједничком ризику и заједничкој награди [7].

5. Закључак

У раду је приказан математички модел којим је моделиран проблем одређивања најпрофитабилнијих купаца и усмеравање унапређења продаје, као адекватне маркетиншке активности, према истим у предузећу "X". У оквиру датог истраживања сагледани су најзначајнији фактори, као што су величина организације, запослени, организациона култура, набавна и продајна цена кафе, трошкови, циљне групе, пословно окружење, конкуренција, који су утицали на ток истраживања. У складу са наведеним факторима, као најадекватнија маркетиншка активност изабрано је унапређење продаје и усмерено ка најпрофитабилнијим купцима. Применом RFM методе одређени су најпрофитабилнији купци, а то је пета група купаца по скали учесталости.

На основу резултата истраживања, предузеће ће у будућности своје маркетиншке активности усмерити ка изградњи дугорочних односа са купцима и на тај начин трансформацији купца у лојалног и оданог потрошача, јер поверење и приврженост купаца имају значајан утицај на исходе пословања. На основу наведеног, посматрано предузеће "X" применом унапређења има потенцијал да са предношћу предводника постане фундаментално различито у односу на конкуренцију, због ексклузивности одабране маркетиншке активности на тржишту на ком послује. У будућности пословање посматраног предузећа треба усмерити ка изградњи дугорочних односа са купцима, које ће се одразити позитивно на

резултате пословања, а у које ће предузеће почети да инвестира значајна средства.

Литература

- [1] Asllani, A., Business Analytics with Management Science Models and Methodes, University of Tennessee at Chattanooga, 2014.
- [2] Beck, T. H. L., Kunt, D. A., Small and medium size enterprises : Access to finance as growth constraints, Journal of Banking and Finance, 2006, Vol. 30(11), str. 2931-2943.
- [3] Kostić-Stanković, M., Applying the RFM method in creating assisting solutions, Journal for Theory and Practice Management, Vol.12 (46), str.18-23, 2007.
- [4] Kostić-Stanković, M., Integricane poslovne komunikacije. Fakultet organizacionih nauka. Beograd, 2011.
- [5] Kostić-Stanković, M., Marketinško komuniciranje u upravljanju odnosima sa kupcima, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2013.
- [6] Lovreta, S., Petković, G., Berman, B., Veljković, S., Crnković, J., Bogetić, Z., Menadžment odnosa sa kupcima. Ekonomski fakultet, Beograd, 2010.
- [7] Palmateier, W., R., Jarvis, B., C., Bechhoff R., J., Kardes, R., F., The Role of Customer Gratitude in Relationship Marketing, Journal of Marketing, Vol. 73(5), str. 1-18, 2009.
- [8] Paunović, B., Preduzetništvo i upravljanje malim preduzećima, Ekonomski fakultet, Beograd, 2014.
- [9] Randall, D., Broderick, A., Managing Communication for Maximum Market Impact, Minesota, 2004.
- [10] Reide, M., Monash, M., Integrated Marketing Communication Capability and Brand Performance, Journal of Advertising, Vol. 44(1), 2015.
- [11] Baza podataka preduzeća "X"



НОВА ТРОШКОВНА МЕРА ЗНАЧАЈНОСТИ

NEW COST-BASED IMPORTANCE MEASURE

ПЕТАР ПАВЛОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, petarpavlovic@yahoo.com

ДРАГАНА МАКАЈИЋ-НИКОЛИЋ

Факултет организационих наука, Београд, makajic-nikolic.dragana@fon.bg.ac.rs

МИРКО ВУЈОШЕВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, vujosevic.mirko@fon.bg.ac.rs

ДАНИЈЕЛ ЧАБАРКАПА

Електронски факултет, Ниш, d.cabarkapa@gmail.com

Резиме: Предмет овог рада представља проблем утврђивања скупа компонената најзначајнијих за поузданост сложених система у случају када су познати трошкови подизања поузданости појединачних компонената, а укупан расположиви буџет за подизање укупне поузданости система је ограничен. У раду се предлаже нова трошкова мера значајности добијена решавањем оптимизационог проблема заснованог на проблему буџетског покривања скупа. Валидација предложене мере је извршена поређењем резултата експеримената нове мере и две познате трошковне мере значајности изведене из класичних мера – мере CBCI (Cost-based component importance) и мере CEIM (Cost-effective importance measure).

Кључне речи: Поузданост, трошковне мере значајности, оптимизација, буџетско покривање скупа.

Abstract: The subject of this paper is the problem of determining the set of the most important components for reliability of complex systems in case when the costs of increasing the reliability of the individual components are known and the total available budget for the overall system reliability increasing is limited. This paper proposes a new cost-based importance measure obtained by solving the optimization problem based on the problem of Budgeted maximum coverage problem. Validation of the proposed measure is done by comparing the experimental results of the new proposed measure and two well-known cost based importance measures derived from classic measures - CBCI (Cost-based component importance) and CEIM (Cost-effective importance measure).

Keywords: Reliability, cost-based importance measures, optimization, Budgeted maximum coverage problem.

1. УВОД

Анализа утицаја поузданости компонената на поузданост целог система је значајан део у процесима дизајна, одржавања и побољшавања поузданости сложених система. У теорији поузданости, ова анализа се врши помоћу концепта мера значајности. Овај концепт је уведен радовима Бирнбаума [1] и Веселија [2]. Временом је развијен велики број мера значајности од којих је највећи број структурних, које разматрају утицај компонената само на основу структуре система, и пробабилистичких, које узимају у разматрање и поузданост компонената [3].

Последњих година је развијен мањи број мера значајности које, поред структуре система и поузданости компонената, узимају у обзир и трошкове [4, 5]. Ови трошкови се углавном односе на цену компонената, трошкове побољшања поузданости компонената или трошкове замене компонената поузданијим. С обзиром на велики значај трошковог аспекта обезбеђива-

ња веће поузданости система, једино трошковне мере значајности свеобухватно разматрају важност компонената. Може се очекивати њихов даљи развој јер представљају једно од отворених питања концепта мера значајности.

Друго отворено питање се односи на то да постојеће мере значајности не узимају у обзир међусобни утицај компонената у систему [6]. Постојећи приступи подразумевају одређивање вредности одабране мере значајности за сваку од појединачних компонената након чега се издваја одређен број компонената које се могу сматрати најзначајнијим за поузданост система. У литератури се може наћи неколико мера значајности које разматрају утицај парова компонената [7] или адитивним мерама групишу значајности више компонената [3].

Предмет овог рада је формулисање и валидација нових мера значајности којима се, за разлику од постојећих приступа, узимају у обзир трошкови компонената

и њихов међусобни утицај на поузданости система. Нова мера је формулисана као оптимизациони проблем који се своде на буџетски проблем покривања скупова. На тај начин се истовремено издваја скуп најзначајнијих компонената система. Рад се састоји из 5 секција. У наредној секцији ће бити приказане две трошковне мере значајности које ће се касније користити за валидацију предложеног приступа. У секцији 3 ће се описати оптимизациони проблем издвајања најзначајнијих компонената и приказати формулација математичког модела. Секција 4 је посвећена нумеричким резултатима, а секција 5 закључцима и даљим правцима истраживања.

2. ТРОШКОВНЕ МЕРЕ ЗНАЧАЈНОСТИ

Основна идеја код класичних мера значајности је испитивање како промена поузданости појединачних компонената утиче на промену поузданости целог система. Мере се разликују по томе на који начин посматрају промену поузданости компонената и система. Тако се нпр. мером RAW (*Risk Achievement Worth*) испитује колико потпуни отказ компоненте смањује поузданост система, мером RRW (*Risk Reduction Worth*) се испитује колико потпуна исправност компоненте повећава поузданост система, док се Бирнбаумовом мером испитује разлика поузданости система у случају потпуне исправности и потпуне неисправности компоненте.

Трошковне мере значајности се базирају на неким од класичних (нетрошковних) мера и проширују их тако што истовремено разматрају промену поузданости и прираштај трошкова. У наставку ће бити приказане две такве мере.

Мера значајности заснована на трошковима СВЦИ (*Cost-based component importance*) представља количник прираштаја трошкова и прираштаја поузданости, [5]:

$$I_i^C(t) = \frac{\partial C_i(t)}{\partial R_i(t)} \quad (1)$$

где се прираштај трошкова $\partial C_i(t)$ може заменити трошком промене поузданости компоненте уколико то не изазива никакве додатне трошкове у систему. Прираштај поузданости $\partial R_i(t)$ се рачуна на основу Бирнбаумове мере значајности.

Што је мера СВЦИ мања то је компонента значајнија јер обезбеђује мању цену повећања поузданости система.

Трошковно ефективна мера значајности СЕИМ (*Cost-effective importance measure*) представља количник прираштаја поузданости и прираштаја трошкова [4]:

$$I_i^{CEIM}(t) = \frac{I_i^{GI}(t)}{C_{f,i}} \quad (2)$$

где је $I_i^{GI}(t)$ општа значајност компоненте која представља количник промене поузданости система и почетне поузданости система:

$$I_i^{GI}(t) = \frac{\partial R_i(t)}{R(t)} \quad (3)$$

Промена поузданости $\partial R_i(t)$ може бити заснована на RAW или RRW мери значајности.

представља количник укупних трошкова свих компонената у систему и трошкова компоненте i :

$$C_{f,i} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{C_i} \quad (4)$$

где је n укупан број компонената у систему.

Што је мера СЕИМ већа то је компонента значајнија јер обезбеђује веће повећање поузданости система уз мање трошкове.

3. ОПИС ПРОБЛЕМА И ФОРМУЛАЦИЈА МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛА

Нова трошковна мера значајности, која се предлаже у овом раду, се заснива на дефиницији пресека система: пресек је скуп компонената чија неисправност доводи до отказа система [9]. Од посебног интереса су минимални пресеци, односно пресеци који не садрже неки други пресек.

Уколико се осигура да нека компонента система не отказује, сви минимални пресеци који је садрже престају да буду могући узрок отказа система. Овакав минимални пресек се може сматрати елиминисаним и његова вероватноћа представља смањење вероватноће отказа система, односно повећање његове поузданости. Циљ је изабрати компоненте чије неотказивање ће највише смањити вероватноћу отказа система. Овакав приступ је коришћен у [10, 11] у формулисању нетрошковних мера значајности.

Претпоставка од којих се полази у предложеној трошковној мери значајности је да је познато следеће:

- ♣ Минимални пресеци посматраног система,
- ♣ Вероватноће или ред величине вероватноћа отказа компонената система,
- ♣ Трошак обезбеђивања неотказивања сваке од компонената,
- ♣ Буџет намењен повећању поузданости система.

Трошковна мера значајности се сада може дефинисати као следећи оптимизациони проблем: распоредити расположиви буџет на обезбеђивање неотказивања компонената којима се елиминишу највероватнији минипресеци, односно максимизира смањење вероватноће отказа система.

За формулисање математичког модела, користиће се следећа нотација:

n - број компонената система, $i = 1, \dots, n$,

m - број минипресека, $j = 1, \dots, m$,

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ ако компонента } i \text{ припада } j\text{-том минипресеку} \\ 0, \text{ у супротном} \end{cases}$$

w_j - вероватноћа j -тог минипресека, $j = 1, \dots, m$

(ова вероватноћа се одређује као производ вероватноћа отказа његових компонената),

- трошак обезбеђивања неотказивања i -те компоненте, $i = 1, \dots, n$,

- буџет намењен повећању поузданости система,

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ ако треба обезбедити да } i\text{-та комп. не откажује} \\ 0, \text{ у супротном} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{ ако је } j\text{-ти минимални пресек елиминисан} \\ 0, \text{ у супротном} \end{cases}$$

Математички модел расподеле буџета на обезбеђивање неотказивања компонената којима се елиминишу највероватнији минипресеци има следећи облик:

Функцијом циља се максимизира укупна вероватноћа елиминисаних минималних пресека чиме се повећава поузданост система. Првим ограничењем се обезбеђује елиминисање свих минималних пресека за чије компоненте ће бити обезбеђено неотказивање. Друго ограничење се односи на расположиви буџет. С обзиром на прво ограничење и максимизацију функције циља, услов бинарности за променљиву y_j се може релаксирати условом $0 \leq y_j \leq 1$, што олакшава решавање овог модела.

Формулисани математички модел одговара проблему буџетског покривања скупова. У литератури се овај проблем може наћи под називом *Budgeted maximum coverage problem* [12] али и као *Maximum coverage with knapsack constraints* [13].

4. РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНАТА

Предложени приступ ће бити илустрован на два тест примера из групе узорних (*benchmark*) стабала неисправности из [14] за које су познати минимални пресеци. Називи и карактеристике тест примера су дати у табели 1.

Табела 1: Узорна стабла неисправности

Назив	БК	БМП	РМП
das9201	122	14217	2-7
das9202	49	27778	1-11

У колони БК је дат број компонената система, у колони БМП број минималних пресека а у колони РМП распон броја компонената у минималним пресецима.

Математички модел из секције 3 је решен за оба тест примера за два нивоа буџета (B). За сваки ниво буџета генерисано је десет инстанци трошкова компонената у распону од 5 до 30 н.ј. и за сваку инстанцу је одређено оптимално решење помоћу софтвера GLPK [15]. За свако добијено решење је одређен проценат побољшања поузданости као количник функције циља формулисаног модела и вероватноће отказа система када све компоненте имају почетну вероватноћу отказа.

Затим су за сваку инстанцу одређене трошковне мере значајности СВЦИ и СЕИМ. За обе мере су, на основу добијених вредности, рангиране компоненте по значајности. Као најзначајније издвојене су прворангиране компоненте чији је укупан трошак мањи или једнак од расположивог буџета. Тим компонентама је додељена поузданост 1 и израчуната је нова поузданост система. Процент побољшања поузданости је одређен као количник нове и почетне поузданости система.

У табелама 2 и 3 је приказано поређење резултата добијених на основу оптимизације формулисаног математичког модела и трошковних мера значајности. Вредности у табелама представљају просечне вредности за десет генерисаних инстанци трошкова. У оба случаја, нижи ниво буџета одговара износу од 2,5% а виши износу од 7,5% од укупних трошкова свих компонената.

Табела 2: Побољшање поузданости за das9201

Буџет	Опт	СВЦИ	СЕИМ
53	53,39	24,42	37,37
160	97,35	53,34	91,68

Табела 3: Побољшање поузданости за das9202

Буџет	Опт	СВЦИ	СЕИМ
21	57,22	56,43	9,67
64	96,71	26,36	93,51

Из табела 2 и 3 се може закључити да су оптимизацијом предложеног модела, након експеримената над оба тест примера, добијена већа просечна побољшања поузданости него што их остварују трошковне мере значајности. За тест пример das9201 при нивоу буџета од 53 н.ј., оптимизација је у свим инстанцама дала боља решења од обе трошковне мере значајности, док је при нивоу буџета од 160 н.ј. трошковна мера значајности СЕИМ у једној од инстанци достигла исто побољшање поузданости као код оптималног решења предложеног модела. За тест пример das9202 при нивоу буџета од 21 н.ј. трошковна мера значајности СЕИМ је достигла исто побољшање поузданости као у оптималном решењу у чак 8 од 10 случајно генерисаних инстанци, док је при нивоу буџета од 64 н.ј. побољшање поузданости једнако оптималном решењу достигнуто у само 2 инстанце. Мера значајности СВЦИ је чешће издвајала већи број јефтинијих догађаја за разлику од СЕИМ код које је уочена тенденција

издвајања мањег броја скупљих догађаја. Међутим, мера СВЦИ доста заостаје за мером СЕИМ у погледу оствареног побољшања поузданости. Мера СВЦИ је дала боље решење од мере СЕИМ у свега само 2 инстанце – у једној од инстанци за тест пример *das9201* при нивоу буџета од 53 н.ј. и у једној инстанци за тест пример *das9202* при нивоу буџета од 160 н.ј. У свим осталим инстанцама мера СВЦИ је имала заостатак побољшања поузданости у односу на меру СЕИМ, у појединим инстанцама и до 80%. Најмањи заостатак побољшања поузданости за побољшањем добијеним оптимизацијом, мера СВЦИ је остварила у једној од инстанци за тест пример *das9202* при нивоу буџета од 64 н.ј. и он износи 1.9%.

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је предложена нова трошковна мера значајности која, за разлику од трошковних мера СВЦИ и СЕИМ базираних на проширењу класичних мера значајности, критичне компоненте одређује истовремено, решавањем оптимизационог проблема заснованог на проблему буџетског покривања скупова. Након обављених експеримената, предложена мера је дала боље резултате од трошковних мера значајности базираних на проширењу класичних мера. Након анализе добијених резултата извршених експеримената над два тест примера, закључено је да нова предложена мера остварује боља побољшања поузданости у односу на трошковне мере значајности СВЦИ и СЕИМ.

Потенцијално ограничење предложеног приступа је немогућност добијања егзактних решења у разумном времену за проблеме великих димензија. Због тога је један од праваца даљег рада развијање хеуристика за решавање наведених проблема. Будућа истраживања обухватаће и експерименте на већем броју тест примера.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Birnbaum, Z.W., On the importance of different components in a multicomponent system. *In Multivariate Analysis*, (ed. Krishnaiah PR), Academic Press, New York. (1969) 581–592.
- [2] Vesely, W.E, Davis, T.C, Denning, R.S, Saltos, N. Measures of risk importance and their applications, Battelle Columbus Labs., Ohio, 1983.

- [3] Kuo, W, Zhu, X., Importance measures in reliability, risk, and optimization, John Wiley&Sons, Chichester, 2012
- [4] Gupta, S., Bhattacharya, J., Barabady, J., Kumar, U. Cost-effective importance measure: A new approach for resource prioritization in a production plant. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 30(4), (2013) 379-386.
- [5] Wu, S., Coolen, F.P., A cost-based importance measure for system components: An extension of the Birnbaum importance. *European Journal of Operational Research*, 225(1), (2013) 189-195.
- [6] Zio E., Risk importance measures. In:PhamH,editor. *Safety and Risk Modeling and its Applications*. London:Springer. (2011) 151–196.
- [7] Armstrong, M,J. Joint reliability-importance of elements, *IEEE Transactions on Reliability*,44(3), (1995) 408–412.
- [8] Borgonovo, E., Apostolakis, G.E. A new importance measure for risk-informed decision making, *Reliability Engineering and System Safety*, 72, (2001) 193-212.
- [9] Ericson, C.A. Hazard Analysis technique for System Safety. New Jersey: John Wiley & Sons,2005.
- [10] Makajić Nikolić D, Vujošević M., Nikolić, N, Određivanje skupa najkritičnijih komponenata *Zbornik radova / XXXIX simpozijum o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2012*, Tara, 2012, 647-650
- [11] Pavlović P, Makajić Nikolić D, Vujošević M (2015) Novi pristup odredjivanju K najznačajnijih komponenata sistema, XLII Simpozijum o operacionim istraživanjima, Srebrno Jezero, 15.09-18.09., *Zbornik radova XLII SYMOPIS*, 634-637
- [12] Khuller S, Moss A, Naor J (1999) The budgeted maximum coverage problem. *Information Processing Letters*, Vol 70, Iss 1, 39-45
- [13] Du D, Ko K, Hu X (2012) Design and analysis of approximation algorithms, *Springer Optimization and its applications* 62
- [14] Rauzy, A (2010) A Benchmark of Boolean Formulae. <http://iml.univmrs.fr/~arauzy/aralia/benchmark.html>
- [15] www.gnu.org/software/glpk/



ИНДИКАТОРИ ПОСЛОВНЕ ОДГОВОРНОСТИ У МАЛОПРОДАЈИ ХРАНЕ

INDICATORS OF BUSINESS RESPONSIBILITIES IN FOOD RETAIL

РАДЕНКО МАРИЋ

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, radenko.maric@ef.uns.ac.rs

ГОРАН ВУКМИРОВИЋ

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, vgoran@ef.uns.ac.rs

Резиме: У овом раду се дефинишу индикатори пословне одговорности продајног особља у малопродаји хране у супермаркетима на територији Републике Србије. То је подразумевало примену следеће методологије истраживања: 1) Теоријским истраживањем су идентификовани индикатори који утичу на пословну одговорност у малопродаји хране, као што су: поштење у купопродајним трансакцијама, коректан однос према купцима, уредност и хигијена продајног особља и продајног места, добра обученост и информисаност продајног особља, чистоћа ентеријера, културно понашање, поштовање законских и правних норми. 2) Тестирана је хипотеза H_0 о постојању статистички значајног утицаја дефинисаних индикатора на пословно одговорно понашање продајног особља применом χ^2 квадрат теста и теста P -вредности. 3) На бази резултата тестирања креиран је модел пословне одговорности у малопродаји хране. Резултати могу да послуже као смерница руководству супермаркета у креирању пословно одговорног радног места и постизању бољег задовољства корисника услуга. Предлози за будућа истраживања дати су у раду.

Кључне речи: Малопродаја, Малопродаја хране, Пословна одговорност, Супермаркети.

Abstract: This paper presents a indicators of business responsibilities of sales staff in food retail in supermarkets in the territory of the Republic of Serbia. This implied the following research methodology: 1) Theoretical research identified the indicators that affect the business responsibilities in food retail, such as: honesty in sales transactions, fair treatment of customers, neatness and hygiene of sales staff and sales areas, well trained and informed sales personnel, interior cleanliness, cultural behaviour, compliance with legal norms; 2) Chi-square test and P-value test were used for testing hypothesis on the existence of statistically significant indicators defined in a business responsible behaviour of sales staff, 3) The results served as a basis for defining the model of business responsible in food retailing. The results can further be used as a guide by supermarket management for defining business responsible workplace and achieving better user's satisfaction. Suggestions for future research are also provided in the paper.

Keywords: Retailing, Food Retail, Business Responsibilities, Supermarkets.

1. УВОД

Скорија истраживања показују висок степен директне корелације између сатисфакције потрошача и одговорног понашања продајног особља који се креће у интервалу од 0,850 до 0,950 [1, 2]. С обзиром да трговина, а посебно сектор малопродаје хране, представља услужну делатност која условљава интерактивни однос између продаваца и купаца, неопходно је да обе стране буду задовољне при реализацији финалне купопродаје [3]

У малопродаји хране је посебно значајно прихватање пословне одговорности од стране запослених, а пре свега продаваца, јер су они у директној комуникацији са потенцијалним потрошачима, нуде им производе, пружају им неопходне информације, услужују, брину о хигијени, чистоћи, уредности, итд. Piacentini, MacFadyen и Douglas истичу да купци у малопродаји хра-

не разликују продавца који имају пасиван, реактиван и проактиван став. Уколико потенцијали купци препознају проактивно прихватање пословно одговорних стандарда понашања, реагују тако што купују производе и показују већу лојалност према датој компанији [4].

Отуда, циљ овог рада је у прецизном дефинисању индикатора који утичу и обликују пословно одговорно понашање продајног особља у сектору малопродаје хране. Практичан значај рада огледа се у томе да менаџери малопродајних објеката могу да сагледају реалан утицај анализираних индикатора и обликују пословно одговорно радно место и продавца који ће све своје пословне одлуке и активности предузимати на одговоран начин према потрошачима, тржишту и јавности.

2. ПОНАШАЊЕ ПРОДАВАЦА У СЕКТОРУ МАЛОПРОДАЈЕ ХРАНЕ

У сектору малопродаје хране, послована одговорност има велики значај, јер је реч о услужној пословној активности чија профитабилност и пословни резултат у највећој мери зависе од запослених који директно пружају услугу финалним потрошачима. Примена концепта пословне одговорности одражава се на квалитет процеса услуживања и реализацију финалног купопродајног чина што утиче на задовољство потрошача, њихову лојалност и приврженост датој трговинској компанији [5]. Пословну одговорност треба посматрати из угла индикатора које запослени треба да познају и примењују како би њихово поступање било одговорно према тржишту, потрошачима и јавности. Аутори апострифирају значај следећих кључних индикатора пословне одговорности сектору малопродаје хране, то су: 1) поштење у купопродајним трансакцијама - подразумева да продавци ни на који начин не смеју да врше притисак или наговор на купце да купе одређене производе или услуге, не смеју да прибегавају техникама обмањујуће продаје, насилном нуђењу промотивних пакета фаворизованих произвођача, лажним снижењима, итд. [6, 7]. 2) коректан однос према купцима - подразумева да продавци треба да се опходе према купцима са љубазношћу, уважавањем, стрпљењем и манирима "доброг домаћина" [1] 3) уредност и хигијена продајног особља и продајног места – представља минимум услова које продавци морају испунити како би се купци осећали по здравље безбедно (нпр., употреба рукавица при раду са месним прерађевинама и рибом, хлебом и пецивом, итд.). 4) добра обученост и информисаност продајног особља – продавци морају бити добро обучени како би били у могућности да пружају потенцијалним купцима тачне и правовремене информације о самом производу, цени и начинима плаћања, условима складиштења и чувања, пореклу сировина (органиско и/или неорганиско), итд., 5) чистоћа ентеријера – односи се на један од основних елемената у концепту 7П маркетинг микса који подразумева да ентеријер и екстеријер продајног објекта морају бити лепо уређени, са јасним линијама, уредним радним рафовима, столовима и простором где ће се потенцијални купци осећати комфортно; (6) културно понашање – продавци морају да буду љубазни према потенцијалним купцима, да имају лепе манире и покрете, лепо ословљавање и бонтон и мора их бити у довољном броју који ће омогућити брзу, тачну и поуздану услугу; (7) поштовање законских и правних норми – подразумева обавезу продавца да зна своје радне обавезе, одговорности и овлашћења, које су прописане законом и етичким статутом компаније.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

Истраживачка хипотеза

На основу изложених теоријских аспеката истраживања, намеће се следећа истраживачка хипотеза:

X_1 : индикатори пословне одговорности у малопродаји хране попут: поштења у купопродајним трансакцијама, коректног односа према купцима, уредности и хи-

гијене продајног особља и продајног места, добре обучености и информисаности продајног особља, чистоће ентеријера, културног понашања, поштовање законских и правних норми су независни од супермаркета у којима се реализује финална купопродаја. Другим речима, сви наведени индикатори подједнако утичу на ниво пословне одговорности продавца хране, независно у којим супермаркетинга на тржишту републике Србије раде. Алетрнатива постојећој хипотези X_{a1} гласи да су разлике између индикатора и супермаркета статистички значајне, односно да су у питању зависна обележја

Метод

За тестирање постављених хиптеза изабран је хи-квадрат тест значајности пропорције и тест P -вредности. Тест значајности пропорције спроводи се на следећи начин [8]:

(1) у првом кораку тестирања пореди се израчуната χ_0^2 вредност са одговарајућом табличном вредношћу $\chi_{(\alpha, m-1)}^2$ која се читава из статистичке хи-квадрат таблице за ризик грешке $\alpha=0,05$ и $\alpha=0,01$ и број степени слободе $r = m-1$.

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^m \frac{[f_i - f_i^{(t)}]^2}{f_i^{(t)}} \quad (1)$$

Где је:

- f_i – оригинална, емпиријска фреквенција
- - теоријска фреквенција
- m – број група у емпиријском распореду

(2) у наредном кораку врши се поређење израчунатих вредности - уколико важи образац да је:

$$\chi_0^2 > \chi_{(\alpha, m-1)}^2 \quad (2)$$

основна истраживачка хипотеза X_1 се одбацује, док се алтернативна хипотеза X_{a1} прихвата, и обрнуто. Тест P -вредности се користи да би се додатно потврдило тестирање постављених хипотеза. Према тесту P -вредности уколико је израчуната P -вредност мања од 0,01 постоји јак доказ против X_0 , уколико се креће у интервалу од 0,01 до 0,05 тада постоји умерен доказ против X_0 , или само наговештај доказа уколико је P у интервалу од 0,05 до 0,10 (Сулливан, 2007).

Процедура

Дата студија истраживања спроведена је међу 150 купаца који су равномерно расподељени по пет старосних група (20-30 год., 30-40 год., 40-50 год., 50-60 год., и 60+). Овакав узорак истраживања је одговарајући и спада у категорију великих статистичких узорака. Идентичан број испитаника је тестиран у Војводини, региону града Београда и Централно-јужној Ср-

бији. Репрезентативност истраживања је обезбеђена чињеницом да је спроведено тестирање продајног особља у четири малопродајна ланца (Delhaize Maxi, Idea, DIS i Roda) који према извештају ревизорске куће Deloitte (Deloitte, 2015) спадају у навеће малопродајне ланце на тржишту Републике Србије.

Испитивање корисника услуга наведених супермаркета реализовано је у периоду март-мај, 2016 год. У сваком стратуму (супермаркету) учесницима је електронским путем прослеђивана анкета са унапред припремљеним одговорима. Након уопштених информативних питања од учесника је тражено да означе најзначајнији индикатор пословне одговорности у секторима продаје хране у датим супермаркетима (реч је о секторима: меса и месних прерађевина, рибе и производа од рибе, хлеба и пецива, кондиторских производа, млека и млечних прерађевина, итд).

Табела 1: Резултати истраживања индикатора пословне одговорности

Индикатор/Супермаркет	Delhaize Maxi		Идея		ДИС		РОДА		Укупно	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
Поштење у купопродајним трансакцијама	13	31,71	14	34,15	13	38,24	12	35,29	52	34,67
Коректан однос према купцима	6	14,63	5	12,20	5	14,71	4	11,76	20	13,33
Уредност и хигијена продајног особља и продајног места	9	21,95	7	17,07	5	14,71	4	11,76	25	16,67
Добра обученост и информисаност продајног особља	2	4,88	4	9,76	2	5,88	3	8,82	11	7,33
Чистоћа ентеријера	5	12,20	5	12,20	7	20,59	7	20,59	24	16,00
Културно понашање	4	9,76	4	9,76	0	0,00	2	5,88	10	6,67
Поштовање законских и правних норми	2	4,88	2	4,88	2	5,88	2	5,88	8	5,33
Укупно	41	100	41	100	34	100	34	100	130	100

Дати табеларни приказ илуструје број (кол. 2, 4, 6, 8 и 10) и структуру (кол. 3, 5, 7, 9 и 11) одговора испитаника посматрано према анализираним супермаркетима. Уочава се да највећу фреквенцију одговора, као најважнији индикатор пословне одговорности малопродаје хране, има поштење у купопродајним трансакцијама 34,67% (n=52). Посматрано према стратумима дати индикатор заузима прво место (Delhaize Maxi 31,71%; ДИС 38,24%; Идея 34,15%; Рода 35,29%). Основна пословна обавеза продавца јесте да искрено уважава, поштује и задовољава потребе, жеље и интересе купаца, без фаворизовања појединих производа и произвођача, без притиска да се „нешто“ мора купити, итд. Следећи по рангу одговора испитаника јесте индикатор и хигијена продајног места и продајног особља са 16,67% (n=25). Овакви резултати указују на закључак да поред поштеног и обученог продавца, купци као пословну обавезу супермаркета подразумевају да продајна места са храном, као и сами продавци, морају бити чисти, уредни, морају да брину о хигијени и правилном руковању, паковању и чувању хране (посебно код меса, месних прерађевина, рибе и пекарских производа), итд. Треће и четврто место према одговорима испитаника у укупном узорку заузима чистоћа ентеријера са 16,00% (n=24) и корек-

Обрада података

Обрада и анализа добијених резултата вршена је у Microsoft Excell Office 2010 Data Analysis програму и у SPSS 20.0 програму за друштвене науке. Тестирање постављених хипотеза вршено је посредством Хи-квадрат теста значајности пропорције, док је тест *И*-вредности коришћен за додатну потврду извршених тестирања.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Упућеност испитаника у разумевање концепта друштвене одговорности малопродаје хране презентује наредни табеларни приказ (Табела 1) у којем су назначени индикатори које испитаници у посматраним стратумима (супермаркетима) сматрају најважнијим чиниоцем друштвено одговорног понашања.

тан однос према купцима са 13,33% (n=20). уредност добре обучености и информисаности продајног особља 16,9% (n=59). За испитанике је важно да је комуникација при самом чину купопродаје отворена, искрена и двосмера. Обавеза продавац јесте да купце не посматрају искључиво као пословни циљ (Баљ ет ал, 2011; ДеГеорге, 2003). Добра обученост и информисаност продајног особља је на петом месту 7,33% (n=11). Продајно особље треба да остави утисак обучених, образованих и едукованих продаваца. На тај начин избор куповине продавци сматрају сигурнијим. Најмањи значај имају индикатори културног понашања са 6,67% (n=10) и поштовања законских и правних норми са 5,33% (n=8). Испитаници претпостављају да поступање и поштовање претходних пет индикатора уједно подразумева културно понашање и поштовање законских норми

5. ДИСКУСИЈА

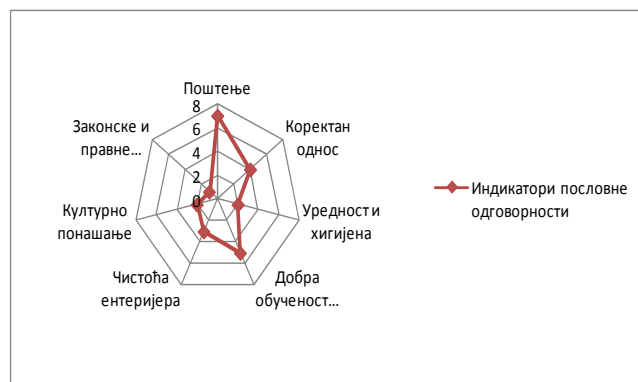
Постављена основна хипотеза H_1 се тестира путем наредне табеле (Табела 2). За проверу постављене хипотезе и дискусију о резултатима истраживања користи се статистички Хи-квадрат тест значајности пропорције и тест *И*-вредности. Закључке о прихватању или

одбацивању постављених хипотеза доносимо на бази ризика грешке $\alpha=0,05$ и $\alpha=0,01$.

Табела 2: Хи-квадрат статистика

Индикатори	χ^2_0	$\chi^2_{(\alpha=0,05)}$	$\chi^2_{(\alpha=0,01)}$	P
Поштење	,154	7,815	11,341	,985
Коректан однос	,400	7,815	11,341	,940
Уредност и хигијена	2,36	7,815	11,341	,501
Добра обученост	1,000	7,815	11,341	,801
Чистоћа ентеријера	,667	7,815	11,341	,881
Културно понашање	4,40	7,815	11,341	,221
Законске и правне норме	,333	7,815	11,341	,954
Укупно	7,743	28,869	34,805	,982

Из дате табеле за сваки индикатор читавамо услов да је $\chi^2_0 \leq \chi^2_{(\alpha, m-1)}$ што указује на закључак да се основна истраживачка хипотеза о независности индикатора пословне одговорности малопродаје хране и - супермаркета X_1 прихвата. На нивоу целог узорка ($n=150$) такође је потврђен услов $\chi^2_0 = 7,743 \leq \chi^2_{(\alpha, m-1)} = 28,869$. Прихватање основне хипотезе додатно је потврђено путем израчунате П - вредност, која је у укупном узорку $p=0,982 > 0,1$ што значи да нема доказа против X_1 . Резултати тестирања упућују на закључак да су индикатори пословне одговорности малопродаје хране на тржишту Републике Србије независни од продајног места (супермаркета) у коме се реализује продаја и да се могу посматрати јединствени на целокупном националном тржишту. Такав закључак пружа могућност да се креира модел пословне одговорности у малопродаји хране (Слика 1). У датом моделу рангирање индикатора се врши по принципу највећи ранг (ранг 7) за највећу фреквенцију одговора испитаника, затим следећи, и тако редом.



Слика 1: Индикатори пословне одговорности у малопродаји хране

Према приложеном рангирању, пословно одговорног продавца на нивоу целокупног српског тржишта карактеристичне поштење продајног особља у купопродајним трансакцијама (ранг 7). Други и трећи по важности ранг је уредности и хигијена продајног особља (ранг 6) и чистоћа ентеријера (ранг 5). Утицај овог индикатора је посебно изражен приликом рада са „кварљивим“ намирницама (месо, месне прерађевине, млеко, производи од млека, хлеб и пецива, риба, итд.). Следећи ранг има индикатор добра обученост и информисаност продајног особља (ранг 4). Сваки продавац треба да поседује тачне информације о квалитету робе, року трајања, саставу материја и нутритивној вредности, алергентима, итд. Мањи значај на пословну одговорност имају преостала три индикатора.

6. ЗАКЉУЧАК

Основна сврха спроведеног истраживање је била да покаже који индикатори се сматрају најважнијим показатељима пословне одговорности малопродаје хране. На бази добијених резултата менаџмент супермаркета може сагледати који су то индикатори у малопродаји хране које купци сматрају најважнијим показатељима пословне одговорности. Добијени резултати и потврђена хипотеза X_1 представљају основу за даља истраживања која би требало да се фокусирају на доказивање повезаности између концепта пословне одговорности и профитабилности супермаркета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Luo, X., Bhattacharya, C.B., "Corporate Social Responsibility, Consumer Satisfaction, and Market Value", *Journal of Marketing*, 70(4) (2006) 1-18.
- [2] Lichtenstein, D. R., Drumwright, M. E., Braig, B. M., "The Effect of Corporate Social Responsibility on Customer Donations to Corporate-Supported Nonprofits", *Journal of Marketing*, 68(4) (2004) 16-32.
- [3] Castaldo, S., Perrini, F., Misani, N., Tencati, A., "The missing link between corporate social responsibility and consumer trust: The case of fair trade products", *Journal of Business Ethics*, 84 (2009) 1-15.
- [4] Piacentini, M., MacFadyen, L., Douglas, E., "Corporate social responsibility in food retailing", *International Journal of Retail & Distribution Management*, 28(11) (2000) 459 – 469.
- [5] Besley, T., Ghatak, M., "Retailing Public Goods: The Economics of Corporate Social Responsibility", *Journal of Public Economics*, 91(9) (2007) 1645-1663.
- [6] De George, R., *Business Ethics*, Филип Вишњић, Београд, 2003.
- [7] Ловрета, С., *Трговински менаџмент*, Економски факултет, Београд, 2014.
- [8] Sullivan, M., *Statistics: Informed Decisions Using Data*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2007.



СИНЕРГИЈА УПРАВЉАЊА ДОКУМЕНТИМА И УПРАВЉАЊА ПОСЛОВНИМ ПРОЦЕСИМА

SYNERGY OF DOCUMENT MANAGEMENT AND BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

ДЕЈАН МИЛЕНКОВИЋ

Управа за телекомуникације и информатику ГШ ВС, Београд, dejan.milenkovic@vs.rs

МАРИНА ЈОВАНОВИЋ МИЛЕНКОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, marinaj@fon.bg.ac.rs

ДРАГОЉУБ СИМОЛОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, d.simonovic@yahoo.com

Резиме: Један од најважнијих фактора за успешно управљање пословним процесима је доступност и начин коришћења информација. Информације и знање су од суштинског значаја за успешно управљање на свим нивоима пословне организације. У зависности од расположивости и правремености, информације могу утицати на убрзање или успоравање реализације активности. Не постоје квалитетне одлуке без квалитетних информација. Информационе и комуникационе технологије су у данашње време веома развијене, тако да проблем није како добити информације, већ на који начин идентификовати корисне информације. Циљ овог рада је да се укаже на проблеме у спровођењу пословних процеса који се односе на коришћење пословних докумената и информација садржаних у њима.

Кључне речи: Информационо-комуникационе технологије, управљање документима, управљање пословним процесима.

Abstract: One of the most important factors for successful business process management is the availability and way of information use. Information and knowledge are essential for successful management at all levels of business organization. Information can affect the acceleration or deceleration of activities realization, depending on the availability and timeliness. There are no quality decisions without quality information. Information and communication technologies are very developed, so problem is not how to get information but problem is how to identify useful information. The aim of this paper is to point out the problems in the implementation of business processes related to the use of business documents and information contained in.

Keywords: Information and communication technologies, document management, business process management.



ПРИМЕНА СТРАТЕГИЈСКОГ БИЛАНСА ЗА ФОРМИРАЊЕ СКАЛЕ РЕЛАТИВНОГ ЗНАЧАЈА КОД АНАЛИЗЕ КАПИТАЛНЕ СТРУКТУРЕ

EXAMPLE OF STRATEGIC BALANCE FOR THE FORMATION OF RELATIVE IMPORTANCE SCALE WITH ANALYSIS OF CAPITAL STRUCTURE

ИВАН МИЛОЈЕВИЋ

Војна академија СЈР МО, Београд, drimilojevic@gmail.com

АЛЕКСАНДАР МИЛЕТИЋ

Војна академија СЈР МО, Београд, aleksandar.miletic@va.mod.gov.rs

Резиме: *Формирање капиталне структуре предузећа је инструмент управљања ценом капитала, која је извор вредности. У том смислу циљ финансирања је да се за дата средства и план улагања пронађе структура капитала која минимизира његову цену, а максимизира вредност предузећа. Финансијски посматрано често се долази до великих супротности приликом тражења оптималне структуре капитала у предузећу. Из тога произилази и захтев за стварањем скале релативног значаја за формирање овакве структуре.*

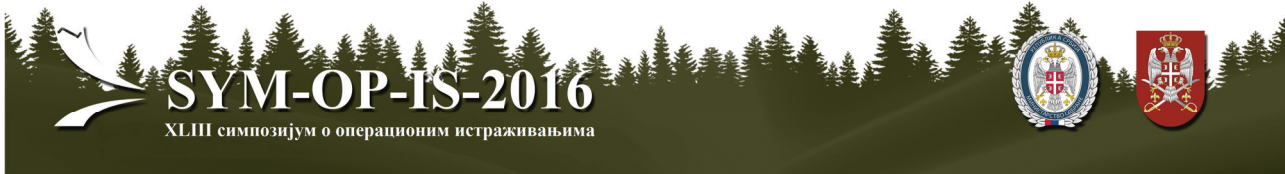
Метода стратегијског биланса даје могућност дијагностиковања проблема у капиталној структури предузећа и исказивања релативног значаја за поједине капиталне факторе, што ће бити приказано у овом раду.

Кључне речи: *скала релативног значаја, стратегијски биланс, анализа, капитална структура.*

Abstract: *The formation of the company's capital structure management instrument cost of capital, which is the source of value. In this sense, the objective of financing is that the data means and investment plan finds capital structure that minimizes the cost and maximizes the value of the company. Financial perspective often leads to large contrast when searching for the optimal capital structure of the company. It follows a request to create a scale of relative importance for the formation of such a structure. The method of strategic balance the possibility of diagnosing problems in the capital structure of enterprises and expressing the relative importance of these capital factors, which will be shown in this paper.*

Keywords: *the scale of relative importance, strategic balance, analysis, capital structure.*

ПОСЛОВНА
ИНТЕЛЕГЕНЦИЈА



EXAMINING QUESTIONNAIRES BY FUZZY LOGIC APPROACHES

MIROSLAV HUDEC

Faculty of Economic Informatics, University of Economics in Bratislava, Slovakia, miroslav.hudec@euba.sk

Abstract: Questionnaires have indispensable role in data collection. Many researches have been focused on improving respondents' cooperation and analysing answers. This paper is focused on the possibilities of fuzzy logic and especially linguistic summaries in recognising most demanding questionnaires and summarizing collected data by short quantified sentences. The former is valuable information for designers of questionnaires to focus on most problematic ones. The latter is a simple way for extracting quantified statement about behaviour of majority of respondents. Both ways reveal only summarized information, which avoids disclosure of sensitive respondents' data and their respective answers.

Keywords: Questionnaire, Response burden, Fuzzy data, Linguistic summaries, Possibility measure, Necessity measure, Fuzzy quantifier.

1. INTRODUCTION

Questionnaires are suitable for collecting answers from respondents. However, respondents are often reluctant to cooperate [2] due to reasons such as lack of time, feeling that questionnaires are demanding, irritation burden, and are not sure how to express answers by sharp numeric values, or by one linguistic term from a predefined set of terms. Therefore, motivation and fuzzy logic should be considered in this field [7].

From technical point of view significant improvement has been achieved. In order to manage relevant metadata in a standardized way (structure of questionnaires, set of questions, sets of possible answers to respective questions, modifications throughout versions, etc.) the Data Documentation Initiative (DDI) standard has been adapted to these goals [3, 13]. Design of online questionnaires is significantly improved by new technologies such as Web 2.0. Vague uncertainty (fuzziness) in respondents' answers is examined in [1]. Furthermore, answers expressed by fuzzy data can be stored in fuzzy databases for further analysis [6].

This paper is devoted to recognizing demanding questionnaires and extracting quantified statement from answers by fuzzy logic. Section 2 presents in brief fuzziness of real world related to questionnaires. Section 3 is devoted to recognizing the most demanding questionnaire by linguistic summaries. Section 4 is dedicated to summarizing answers by possibility and necessity measures. Finally, Section 5 concludes this paper.

2. FUZZINESS AND QUESTIONNAIRES

The fuzzy set theory [14] offers an environment for handling semantic uncertainty in variety of fields including managing questionnaires [1].

Fuzzy sets

A fuzzy set A over the universe set X is defined by function μ_A that matches each element of the set X with its membership degree to the fuzzy set A by:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

where $\mu_A(x)$ indicates the truth value of belonging of an element x to a fuzzy set A .

Concepts expressing *small value* may be modelled by L fuzzy sets (Picture 1a), concepts like *approximately m* where m is a real number are usually expressed by triangular fuzzy sets (Picture 1b), concepts expressing *high value* may be modelled by liner gamma function (Picture 1c) and the like. Furthermore, triangular fuzzy sets are fuzzy numbers due to limited support, convexity and when normality is met (at least one element of X has membership degree to fuzzy set A equal to 1). When the universal set X is a countable set, then the membership degrees to a fuzzy set A are assigned as:

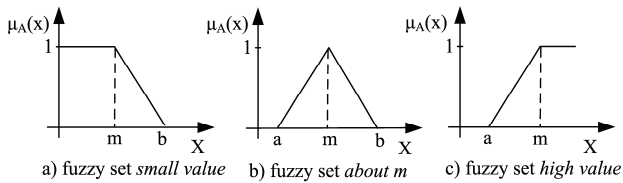
$$A = \{(x_1, \mu_A(x_1)), \dots, (x_n, \mu_A(x_n))\} \quad (2)$$

For comparing fuzzy number with fuzzy concept variety of measures can be used [4]. Two of them are possibility measure and necessity measure. Possibility that fuzzy number A belongs to fuzzy concept FC is defined as (Picture 2):

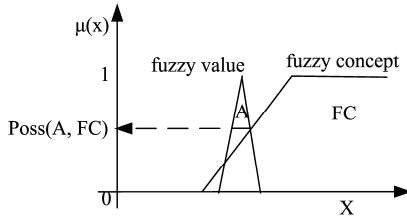
$$Poss(FC, A) = \sup_{x \in X} [\min(\mu_{FC}(x), \mu_A(x))] \quad (3)$$

Necessity that fuzzy number A belongs to fuzzy concept FC is defined as:

$$Nec(FC, A) = \inf_{x \in X} [\max(\mu_{FC}(x), 1 - \mu_A(x))] \quad (4)$$



Picture 1: Fuzzy sets



Picture 2: Illustration of possibility measure

Questionnaires

Questionnaires are consisted of variety of questions. Usually, answers are expressed by numeric values or by selected linguistic term from the set of predefined terms. In this work open-ended questions are not considered.

Regarding questions which should be answered by numeric values such as *how much money you spend for travel insurance* respondents are not always aware of precise values and tend to roughly estimate these values in order to avoid wasting time for searching in invoices. For example, respondent can say that travel insurance is about 220 € but for sure not more than 250 € and not less than 185 €. If researcher analyses respondents which payments are higher than 230 € and answer is recorded as crisp value 220 €, then this respondent is not considered. On the other hand, by fuzzy logic approaches this respondent is relevant with the degree lower than 1, but significantly higher than 0. These answers can be expressed by triangular fuzzy number (Picture 1b).

Concerning questions like *is information provided by insurance agencies regarding product A satisfactory*, answer could be one value from the set {very low, low, medium, high, very high}. However, respondents cannot always explicitly state, which term is the most suitable answer so they tend to express answer like *more medium than high*. Traditionally such answers would be considered as invalid ones and excluded [1]. But in fuzzy way this data can be expressed by categorical fuzzy set (2) as $A = \{(medium, 0.75), (high, 0.25)\}$ recording respondent's vagueness for further analysis.

3. RECOGNISING BURDENSOME QUESTIONNAIRES

Answer to the question *find questionnaires where most of respondents has high response time* helps designers to focus on the most demanding questionnaires in order to improve structures of questionnaire, or increase activities related to motivation. Classical protoforms of Linguistic

Summaries (LSs) [8, 10, 11] are suitable for solving such tasks.

Classic protoform of LSs is of the structure *Q entities are S*, where *S* is a linguistic summarizer and *Q* is a relative fuzzy quantifier. The validity of such LS is computed by the following equation [9]:

$$T(Qx(Px)) = \mu_Q\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_S(x_i)\right) \quad (5)$$

where *n* is the number of objects (cardinality) in a given universal set, μ_S is the membership functions explaining summarizer *S* and μ_Q is the membership function of a relative quantifier. The truth value gets value from the [0, 1] interval. The quantifier *most of* might be given as:

$$\mu_Q(y) = \begin{cases} 0, & \text{for } y < 0.5 \\ \frac{y - 0.5}{0.35} & \text{for } 0.5 \leq y \leq 0.85 \\ 1, & \text{for } y > 0.85 \end{cases} \quad (6)$$

Illustrative example

Let us have two questionnaires Q_1 and Q_2 which were answered by respondents. Questionnaires may be of different complexity (number and structure of queries). In order to consider this fact fuzzy set *high response time* is constructed for each questionnaire considering response times. Response times for Q_1 are shown in Table 1.

Table 1: Time required for filling questionnaire Q_1

respondent	time [min]
respondent 1	36
respondent 2	22
respondent 3	41
respondent 4	38
respondent 5	50
respondent 6	39
respondent 7	44
respondent 8	10
respondent 9	37
respondent 10	48

The fuzzy sets *high response time* has parameters $a = 35$ min and $m = 40$ min (Picture 1c) applying fuzzy partition as in Ruspini [12], where length of flat segment is of double size than length of slope. The quantifier *most of* is expressed by equation (6).

Applying equations (5) and (6) we get truth value of 0.286. Let us consider that truth value for Q_2 is 0.865. The summaries say that Q_2 is significantly demanding and should be re-designed. Otherwise, respondents may not cooperate in the future surveys or put less attention to question, which might cause lower quality of surveyed data.

In this way designers receive summarized information about questionnaires, not sensitive data about respondents and their answers. Furthermore, questionnaires' metadata can be expressed by DDI standard, as was mentioned afore. It is especially suitable for questionnaires which are

often repeated in time with slightly modified structure. Applying LSs (5) we can see how demanding is a particular modification of questionnaire and keep this information together with other metadata. This is valuable information for questionnaire designers and researchers focused on respondents' motivation.

4. SUMMARIZING ANSWERS BY LINGUISTIC SUMMARIES ON FUZZY DATA

An overview of questionnaire can be obtained by short quantified sentences, which are easily understandable. For this purpose we have extended classical protoforms of LSs with possibility measure and necessity measure. Example of such summaries are *most of respondents have possibly low insurance payments in total* and *most of respondents have necessarily low payments for travel insurance*.

Truth values of such summaries can be calculated by (5). The difference is in calculating proportion, which is used as argument for fuzzy relative quantifier. In order to calculate proportion, the matching degree of each respondent to the fuzzy concept must be calculated. It is more complex task in comparison with example in Section 3, because we compare fuzzy data with fuzzy concept. In this case we need to use fuzzy comparators. Fuzzy comparator *possibly fuzzy less than* (PFL) is calculated by the modified possibility measure (3) [5], where fuzzy concept FC is expressed as L type fuzzy set, and fuzzy data is a triangular fuzzy number A , as:

$$\mu_{A_{PFL}FC}(x) = \begin{cases} 1, & \text{for } m_A \leq m_{FC} \\ \frac{a_A - b_{FC}}{(m_{FC} - b_{FC}) - (m_A - a_A)} & \text{for } m_A > m_{FC} \wedge a_A < b_{FC} \\ 0, & \text{for } a_A \geq b_{FC} \end{cases} \quad (7)$$

where a_A, m_A, b_A stand for parameters of triangular fuzzy number A (Picture 1b) and m_{FC} and b_{FC} for L type fuzzy concept (Picture 1a).

Analogously, fuzzy comparator *necessarily fuzzy less than* (NFL) is calculated by the modified necessity measure (4) [5] and expressed as:

$$\mu_{A_{NFL}FC}(x) = \begin{cases} 1, & \text{for } b_A \leq m_{FC} \\ \frac{m_A - b_{FC}}{(m_{FC} - b_{FC}) - (b_A - m_A)} & \text{for } b_A > m_{FC} \wedge m_A < b_{FC} \\ 0, & \text{for } m_A \geq b_{FC} \end{cases} \quad (8)$$

where parameters have the same meaning as in (7).

Fuzzy comparators *possibly fuzzy greater than*, *necessarily fuzzy greater than* are discussed in [5] for fuzzy queries on fuzzy data. These comparators can be applied in LSs when summarizer is expressed by linguistic term *high*.

Similarly, fuzzy comparators *possibly fuzzy equal to*, *necessarily fuzzy equal to* can be applied in summaries when summarizer is expressed by terms *medium* or *about m*.

Illustrative example

Let us examine whether is true that *most of respondents have possibly low insurance payments*. Concept *low insurance payment* is expressed by L fuzzy set (Fig 1a) with parameters $m = 75$ € and $b = 100$ €. Respondents' fuzzy data are shown in Table 2. The triangular fuzzy number is in the accordance with Fig 1b denoted as:

$$A = (a, m, b) \quad (9)$$

Table 2: Respondents answers expressed as fuzzy numbers

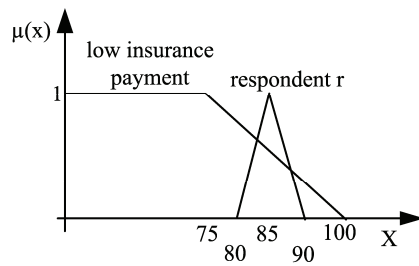
respondent	insurance payments [€]
respondent 1	80, 85, 90
respondent 2	120, 135, 150
respondent 3	90, 90, 90*
respondent 4	50, 50, 50*
respondent 5	70, 80, 90
respondent 6	60, 65, 70
respondent 7	90, 110, 120
respondent 8	60, 70, 80
respondent 9	120, 150, 170
respondent 10	110, 110, 110*

* respondent provided crisp answer. In order to keep notation (9) fuzzy number is expressed as $A(m, m, m)$.

Answer of respondent r_i is about 85 but for sure not lower than 80 and not higher than 90. This respondent participates in proportion with degree of 0.67 (Fig. 3). In the same way we calculate participation of other respondents (possibility that their fuzzy data are in fuzzy concept) as: 0, 0.4, 1, 0.86, 1, 0.22, 1, 0, 0, respectively. The next steps are same as in illustrative example in Section 3. Proportion of tuples which belongs to the concept is 0.515. The truth value of analysed sentence is 0.0428. Hence, we cannot say that most of respondents have possibly low insurance payments, but regarding the proportion we can say that about half respondents have possibly low insurance payments.

Concerning the same summarizing sentence, but expressed by necessity comparator, *respondent 1* participates in proportion with degree of 0.43. An interesting case is *respondent 8*. Its value m belongs to the flat segment of fuzzy concept and therefore matching degree to comparator *possibly fuzzy less than* is equal to 1, whereas matching degree to comparator *necessarily fuzzy less than* is lower than 1, because respondents value b does not belong to the flat segment of fuzzy concept. In the same way its matching degree is greater than 0, because respondents value m is not higher than value b of fuzzy concept. This example illustrates the fact that the necessarily fuzzy comparator is more restrictive than the possibility counterpart.

When respondents express their answers by trapezoidal fuzzy sets (flat segment of matching degrees equal to 1), instead of equations (7) and (8), equations suggested in [5] can be applied.



Picture 3: Fuzzy data compared with fuzzy concept by fuzzy comparison operators *fuzzy possibly less than* and *fuzzy necessarily less than*

5. CONCLUSION

Questionnaires play a pivotal role in gathering information from people. But many potential respondents not cooperate in surveys or do not put sufficient attention to questions. Non-responses and errors are usual sign in surveys.

This paper has examined possibilities for improvement by LSs in two directions. The first direction was focused on recognizing most demanding questionnaires. The answer emphasises, which questionnaires are demanding and therefore should be re-designed. Furthermore, sensitive data regarding respondents and their answers remain undisclosed. The second direction was dedicated to summarizing from precise and fuzzy data by short quantified sentences. In order to solve this task possibility and necessity measures are adapted to LSs. In this way sensitive data regarding respondents and their answers remain also undisclosed.

Uncertainties regarding semantic meaning of examined concepts were expressed by quantifiers, fuzzy concepts, and possibility and necessity measures. Moreover, both directions were solved by one fuzzy logic approach: linguistic summaries. LSs were adjusted for both directions to cope with different types of data.

The fuzziness naturally appears during surveys and latter in analysing collected respondents' answers. This fuzziness conveys valuable information which should be considered.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is a part of a research grant No. 1/0849/15 entitled 'Economic and social aspects of the information asymmetry in the insurance market' provided by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic.

REFERENCES

- [1] Adrian, A.D., "The potential for fuzzy logic questionnaires in management studies", 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. October 11 – 14, Sad Diego, 1998.
- [2] Baruch, Y., Holtom, B., "Survey Response Rate Levels and Trends in Organizational Research", *Human Relations*, 61(8): (2008) 1139–1160.
- [3] Dulisch, N., "GESIS, Converting General MS Word Questionnaire to DDI", 2nd Annual European DDI Users Group Meeting. December 8 – 9, Utrecht, 2010.
- [4] Galindo, J., "Introduction and trends to fuzzy logic and fuzzy databases", *Handbook of research on fuzzy information processing in databases* (J. Galindo ed.). Information Science Reference, Hershey, 2008, 1-33.
- [5] Galindo, J., Urrutia, A., Piattini, M., *Fuzzy databases: Modeling, Design and Implementation*. Idea Group Publishing Inc, Hershey, 2006.
- [6] Hudec, M., "Storing and Analysing Fuzzy Data from Surveys by Relational Databases and Fuzzy Logic Approaches", XXV-th IEEE International Conference on Information, Communication and Automation Technologies, Sarajevo, 28-31 October, 2015.
- [7] Hudec, M., Torres van Grinsven, V., "Business' participants motivation in official surveys by fuzzy logic", 1st Eurasian Multidisciplinary Forum, (EMF 2013), Tbilisi, 24 – 26 October, 2013.
- [8] Kacprzyk, J., Zadrożny, S., "Protoforms of Linguistic Database Summaries as a Human Consistent Tool for Using Natural Language in Data Mining", *International Journal of Software Science and Computational Intelligence*, 1(1) (2009) 100-111.
- [9] Kacprzyk, J., Zadrożny, S., "Linguistic database summaries and their protoforms: towards natural language based knowledge discovery tools", *Information Sciences*, 173 (2005) 281-304
- [10] Lesot, M-J., Moysse, G, Bouchon-Meunier, B., "Interpretability of fuzzy linguistic summaries", *Fuzzy Sets and Systems* 292 (2016) 307–317.
- [11] Rasmussen, D., Yager, R. R., "Summary SQL – A Fuzzy Tool for Data Mining", *Intelligent Data Analysis*, 1 (1997) 49-58.
- [12] Ruspini, E., "A new approach to clustering", *Information and Control*, 15 (1969) 22-32.
- [13] Thomas, W., Hebing, M., "Data and Metadata Management Using DDI", 5th Annual European DDI User Conference, Paris, 3 – 4 December, 2013.
- [14] Zadeh, L. A. "Fuzzy sets", *Information and Control* 15 (1965) 338-353.



ПРОЈЕКАТ ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ АСОЦИЈАТИВНИХ ПРАВИЛА ПОМОЋУ СОФТВЕРА RAPIDMINER

THE PROJECT OF ASSOCIATION RULES IMPLEMENTATION BY USING SOFTWARE RAPIDMINER

ВИШЊА ИСТРАТ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, visnja.istrat@gmail.com

ДАЈАНА МАТОВИЋ

Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

Резиме: Одлучивање је иманентно свим функцијама менаџмента. Приказан је пројекат примене асоцијативних правила на потрошачкој корпи. Доказано је да је ова област пословне интелигенције веома актуелна и са великим потенцијалом. Дате су смернице за будућа истраживања као изазов да се пружи значајан научни и стручни допринос са циљем унапређења пословног одлучивања.

Кључне речи: Асоцијативна правила, пословна интелигенција.

Abstract: Decision making is immanent in all functions of management. The project of association rules application has been developed on the example of market basket analysis. It has been proven that this field of business intelligence has an enormous potential. The suggestions for future research have been provided in order to improve business decision making.

Keywords: Association Rules, Business Intelligence.

1. УВОД

У [1] дефинише се "Одлучивање као избор једне из скупа понуђених алтернатива". Као изузетно комплексан процес, који треба да резултује доношењем исправних управљачких одлука, потребно је у континуитету истраживати и унапређивати методе и технике савременог одлучивања. Савршено решење за дефинисани проблем не постоји, те се треба оријентисати на проналажење најприхватљивијег решења.

У [1] се дискутује о три димензије које условљавају потпуни развој ове дисциплине. То су квалитативни аспект, квантитативни аспект и информационо-комуникациони аспект. Ова три аспекта одлучивања у потпуности задовољавају све концепте развоја савременог одлучивања, како на теоретском, тако и на апликативном нивоу. "Квантитативним приступом у савременом одлучивању дефинисан је основни формализам проблема одлучивања", истиче се у [2].

Према [1], проблем одлучивања је петорка у којој је: \mathcal{A} : коначан скуп расположивих алтернатива (акција), \mathcal{C} : које учесник сесије рангира у циљу избора најприхватљивије;

X : скуп могућих резултата који следе као последица избора алтернативе;

Θ : скуп стања света, зависи од непознатог стања света јер се последице избора алтернативе $\alpha \in \mathcal{A}$ могу разликовати;

$$\mathbb{F} : \mathcal{A} \times \Theta \rightarrow \mathcal{X} \quad (1)$$

одређује за свако стање света ϖ и за сваку алтернативу α , резултујућу последицу

$$X = \mathbb{F}(\alpha, \varpi) \quad (2)$$

\succ : релација слабог поретка на \mathcal{X} , тј. бинарна релација која испуњава следеће услове:

$$\bullet \quad X \succ \gamma \text{ или } \gamma \succ X, \forall X, \gamma \in \mathcal{X} \quad (3)$$

$$\bullet \quad \succ \text{ је транзитивна, тј. } X \succ \gamma. \quad (4)$$

Релација \succ карактерише доносиоца одлуке и назива се релација преференције. Строга преференца $X \succ \gamma$ значи да важи $X \succ \gamma$. Релација индиферентности

$X \sim \gamma$ значи да важи $X \succ \gamma$. Најчешћи начин решавања проблема одлучивања јесте трансформација слабог поретка \succ на X у уобичајени поредак \geq над реалним бројевима помоћу функције корисност. У [3] описују се детаљније квантитативне методе одлучивања.

Препорука је да доносилац одлука поседује велико искуство, знање и мудрост у коришћењу метода и техника савременог одлучивања. Више о понашању менаџера описује се у [4]. Битна је и интуитивност у доношењу одлука, као и проактиван приступ решавања проблема. Преплитање различитих научних дисциплина указује на интердисциплинарни оквир савременог одлучивања. Препорука је да се стратешко деловање пословног субјекта оријентише ка перманентном изучавању и примени метода и техника савременог одлучивања, са циљем достизања пословне изврсно-сти и лидерске позиције у пословном окружењу.

Више о организационом одлучивању видети у раду [5] на описаном примеру. У [6] описују се најновији трендови у систему за подршку одлучивању. Аутори у раду [7] говоре о бенчмаркингу компанија из области пословне интелигенције са најновијим пословним решењима. Нови трендови система за подршку одлучивању описују се у [8].

"Асоцијативна правила су користан алат за екстраховање нових информација из необрађених података изражених на разумљив начин за доносиоце одлука", дефинише се у раду [9]. Концепт асоцијативних правила и сетови података описују се у раду [10]. Рударење асоцијативних правила помоћу новог статистичког метода су описани у [11]. "Анализа веза између различитих технологија може резултовати максимизацијом профита. Асоцијативна правила су предложена за детерминисање зависности међу технологијама", према [12].

2. ПОСТАВКЕ ИСТРАЖИВАЊА АСОЦИЈАТИВНИХ ПРАВИЛА

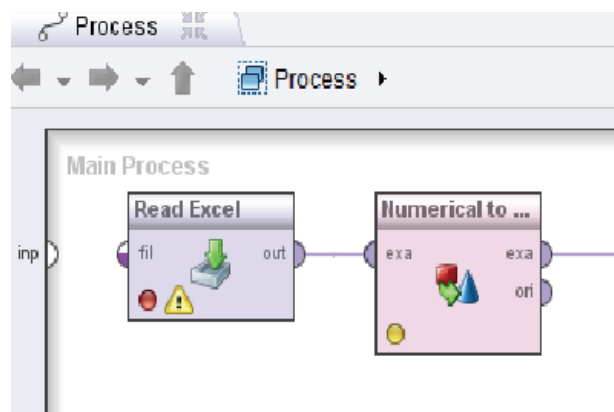
У раду је анализирана примена асоцијативних правила на примеру потрошачке корпе помоћу софтвера RapidMiner. Истраживање је спроведено према CRISP-DM методологији.

У великим трговинским ланцима који послују у више десетина држава са неколико хиљада продајних објеката постаје императив пронаћи модел који ће на најефективнији начин унапредити пословање и максимизацију профита на тржишту. Пословна интелигенција представља област која има велику примену у креирању асоцијативних правила која унапређују модел потрошачке корпе одређивањем који артикли се купују везано. Затим се на основу комплексних калкулација одређује понуда која се креира за тржиште.

У раду је анализирана је база података у форми *Excel* табеле. Подаци су прикупљени са вебсајта www.kaggle.com и обухватају трансакције са описима купљених артикала из ланца супермаркета из 12 држава са

130 продајних објеката. У бази је обухваћено 359.486 продајних трансакција.

У софтверу RapidMiner прво је обављена фаза припреме базе података да би подаци били у најприхватљивијем облику за обраду. У случају креирања асоцијативних правила помоћу оператора FP-Growth и алгоритма за креирање асоцијативних правила потребни су нам подаци у биноминалном облику. У програмском пакету RapidMiner за овај проблем користи се оператор „Numerical to Binominal“, који одабране нумеричке вредности атрибута претвара у бинарни облик. Биноминални облик је „true-false“ облик, где вредност 1 представља „true“, а 0 „false“.



Слика 1: Оператори софтвера за припрему података

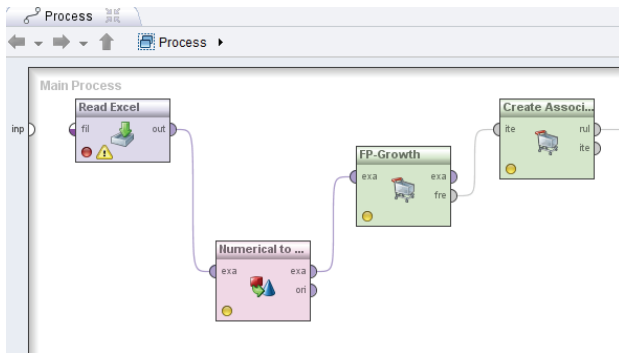
Према почетним ставкама оператора "Numerical to Binominal" у програмском пакету *RapidMiner* постављена је вредност 0 и за горњу и за доњу границу за „true-false“ форму. Овакав начин одговара проблематици рада због тога што ће *RapidMiner* у том случају све нумеричке вредности које износе 0 претворити у „false“ облик, а све остале у „true“ облик. На овај начин је завршен поступак припреме базе података и модел је спреман за креирање асоцијативних правила.

Након што је база података успешно припремљена, приступа се изради модела за креирање асоцијативних правила. За креирање модела потребна су 4 оператора. То су оператори:

- За учитавање фајла (*Read Excel*);
- За конверзију нумеричких у биноминални облик (*Numerical to Binominal*);
- За израчунавање фреквентних подскупова помоћу јединствене структуре (*FP- Growth*);
- За креирање асоцијативних правила (*Create association rules*).

3. КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА АСОЦИЈАТИВНИХ ПРАВИЛА

На Слици 2 приказани су оператори коришћени у истраживању и креиран модел за генерисање асоцијативних правила.



Слика 2: Креиран модел асоцијативних правила у софтверу *RapidMiner*

Read Excel оператор се користи за учитавање података из *Excel* табеле. Табела мора бити форматирана на начин да сваки њен ред представља пример, а свака колона алтернативу. Први ред *Excel* табеле може представљати имена атрибута, који се могу приказати као параметри.

FP - Growth оператор ефикасно израчунава све фреквентне подскупове података из одабраног скупа, користећи јединствену структуру. Потребно је да сви атрибути улазног скупа података буду биноминалног облика.

Create association rules оператор генерише сет асоцијативних правила за одабрани скуп фреквентних подскупова података. Асоцијативна правила су ако/тада правила која помажу да се открију везе између привидно неповезаних података. Асоцијативно правило увек има два дела: узрок (*if*), и последицу (*than*). Узрок је ставка из оригиналног скупа података.

Numerical to Binomial оператор конвертује одабране нумеричке атрибуте у биномиалан облик. Назива се и бинарни облик. Овај оператор не само да мења тип одабраних атрибута него бележи све вредности тих атрибута у одговарајуће биноминалне (бинарне) вредности. Бинарни атрибути могу имати само две могуће вредности (нпр. „*true*“ или „*false*“, или 0 или 1). Ако је вредност атрибута између постављене минималне и максималне вредности, она постаје „*true*“, ако је супротно онда је „*false*“. Предефинисане границе за минималне и максималне параметре су 0, тако да је 0.0 претворено у „*false*“, а све остале вредности су „*true*“.

Креирани модел асоцијативних правила се примењује над припремљеним подацима из базе и добија се листа асоцијативних правила из које се издвајају најважнија и примењују на креирање понуде на тржишту. Издвојена су правила која имају подршку већу од 0.5 и поверење веће од 0.8, јер је тако дефинисано у *FP-Growth* оператору.

Табела 1: Креирана асоцијативна правила

У Табели 1 приказано је добијених 10 асоцијативних правила о артиклима који се најчешће купују везано. За свако асоцијативно правило приказане су мере ква-

Ако (if)	Тада (Then)	Подршка	Поверење
Компјутер	Веб камера	0.573	0.842
Тастатура	Слушалице	0.532	0.865
Телевизор	Звучници	0.631	0.826
Звучници	Тастатура	0.508	0.879
Веб камера	Компјутер	0.569	0.853
Компјутер	Тастатура	0.528	0.875
Тастатура	Телевизор	0.589	0.863
Компјутер	Слушалице	0.572	0.832
Слушалице	Звучници	0.518	0.869
Телевизор	Компјутер	0.529	0.852

литета: подршка и поверење. За издвојена асоцијативна правила која имају подршку већу од 0.5 издваја се да су били присутни у бази у више од 50 % записа.

Издваја се асоцијативно са правило са највећим процентом подршке од 0.631 и поверења од 0.826 и које гласи: ако се купује телевизор, постоји највећа вероватноћа да ће се и звучници истовремено купити. Затим се на основу добијених резултата креира понуда за купце која ће најбоље испунити њихове захтеве и омогућити максимизацију продајних перформанси. На овај начин се из великих база података издваја знање које омогућава менаџерима доношење ефикаснијих одлука у пословним системима.

4. ЗАКЉУЧАК

Основни мотив развоја оваквог модела пословног одлучивања је указивање на значај који имају асоцијативна правила у процесу доношења одлука у савременом менаџменту. Циљ наставка истраживања је креирање модела пословног одлучивања који може бити применљив на тржишту у пословним системима различитих делатности и са комерцијалном сврхом.

Указује се на значај пословне интелигенције за стварање модела који може повећати ефективност процеса менаџерског одлучивања. Примена асоцијативних правила у сврхе истраживања има изузетан потенцијал у области пословања.

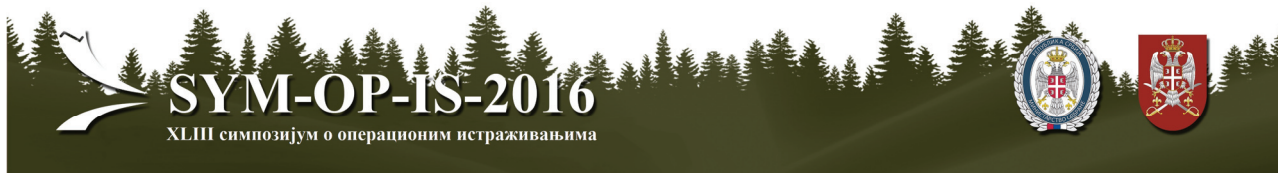
Практична примена и значај резултата истраживања верификују се публикавањем научних радова, који упућују на даље истраживање ове области и дају смернице заинтересованим странама (пословни аналитичари, менаџери, докторанди, стручњаци из области пословне интелигенције и многи други).

Практична реализација овог истраживања огледа се и у примени развијеног модела пословног одлучивања,

као и даљом потенцијалном надоградњом и проширењем области примене на друге пословне системе. Тиме се проширује опсег деловања пословне интелигенције и врши њено даље развијање, као и популаризација. Препоручује се наставак употребе и надоградња модела асоцијативних правила од стране корисника, као и даља истраживања и популаризација ове области пословне интелигенције.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Suknović, M., *Razvoj metodologije podrške grupnom odlučivanju*, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, In Serbian, 2001.
- [2] Suknović, M., Delibašić, B., *Poslovna inteligencija i sistemi za podršku odlučivanju*, FON, Beograd, In Serbian, 2010.
- [3] Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., Cochran, J., *An introduction to management science: quantitative approaches to decision making*, Cengage Learning, 2015.
- [4] Bazerman, M., Moore, D. A., *Judgment in managerial decision making*, 2012.
- [5] Pettigrew, A. M. , *The politics of organizational decision-making*, Routledge, 2014.
- [6] Power, D. J., Sharda, R., Burstein, F., *Decision support systems*, John Wiley & Sons Ltd, 2015.
- [7] Howson, C., Hammond, M., *Successful Business Intelligence: Unlock the Value of BI & Big Data*, McGraw-Hill Education, 2014.
- [8] Sauter, V. L., *Decision support systems for business intelligence*, John Wiley & Sons, 2014.
- [9] Ruiz, M. D., Gómez-Romero, J., Martin-Bautista, M. J., Sánchez, D., Vila, M. A., Delgado, M., *Fuzzy Meta-Association Rules*, 2015.
- [10] Simovici, D. A., Djeraba, C., “Frequent Item Sets and Association Rules In Mathematical Tools for Data Mining”, *Springer London*, (2014) 647-668.
- [11] Zhang, A., Shi, W., Webb, G. I., “Mining significant association rules from uncertain data”, *Data Mining and Knowledge Discovery*, (2016) 1-36.
- [12] Altuntas, S., Dereli, T., Kusiak, A., “Analysis of patent documents with weighted association rules”, *Technological Forecasting and Social Change*, 92, (2015) 249-262.



ПРАВОВРЕМЕНО РАСПОРЕЂИВАЊЕ У *JOB SHOP* ПРОБЛЕМУ: ПРИСТУП ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

JUST-IN-TIME SCHEDULING IN JOB SHOP PROBLEM: MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION APPROACH

ЗОРАН РАКИЋЕВИЋ, МИЛАН СТАНОЈЕВИЋ
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду
{zrakicevic@fon.bg.ac.rs, stanojevic.milan@fon.bg.ac.rs}

Резиме: *Job Shop* проблем представља проблем распоређивања неколико производа на неколико машина, при чему производи могу имати различит редослед обраде. У савременим производним системима постоји тежња за имплементирањем концепта планирања који ће обезбедити да се производи стварају баш у тренутку када је потребно да буду продати или употребљени у даљем процесу стварања нове вредности. Свако одступање од планираног завршетка може проузроковати чекања, сувишне залихе, кашњења и трошкове. Овај рад приказује концепт правовремености (*Just-in-time*) у распоређивању на примеру *Job Shop* проблема. За моделовање *Job shop* проблема распоређивања са *just-in-time* критеријумским функцијама, коришћен је *MiniZinc* моделујући језик. Поред тога у раду је на посматраном моделу представљен приступ вишекритеријумске оптимизације уз помоћ технике ϵ -ограничења.

Кључне речи: *Job shop*, *just-in-time*, вишекритеријумска оптимизација, метода ϵ -ограничења, *MiniZinc*.

Abstract: *The job shop is a problem of scheduling several products on several machines where all the products have different processing route. In modern production systems there is tendency to implement such a planning concept which will ensure that the products are made just at the moment when they should be used or sold. Any deviation from the planned completion time may cause an increase in waiting and idle time, delays, inventory costs and penalties that need to be paid to customers if the due date is not met. This paper presents a concept of a just-in-time job shop scheduling problem. For the practical modelling of job shop problem with just-in-time criteria, we used MiniZinc modelling language. Additionally, the concept of multi-objective optimization, i.e. the ϵ -constraint method was applied to the observed model.*

Keywords: *Job shop*, *just-in-time*, multi-criteria optimization, ϵ -constraint method, *MiniZinc*.

1. УВОД

Проблеми планирања и распоређивања чине саставни део процеса управљања и одлучивања у свакодневном пословању производних и услужних предузећа. Проблем распоређивања у општем случају представља проблем одређивања просторног и временског распореда извршавања активности и операција рада [1]. Према Pinedo [2] распоређивање подразумева процес одлучивања о лоцирању ограничених ресурса на задатке током времена, са сврхом да се оптимизује један или више критеријума. Пронаћи најбољи, тј. оптималан распоред, представља веома комплексан проблем коме је у научној и стручној литератури посвећена велика пажња. Проблеми распоређивања у производњи и пружању услуга се дефинишу на основу карактеристика производних и услужних система: број расположивих ресурса (машина или извршилаца), њихове карактеристике и конфигурација у производном погону, ниво аутоматизације производно-услужних операција, тип система унутрашњег транспорта. Разлике у број-

ним карактеристикама проузрокују појаву различитих типова производног или услужног процеса [3]. Различити процеси изискују употребу одговарајућих модела за решавање задатака планирања производње [2]. У овом раду се представља *Job Shop* проблем распоређивања – проблем распореда неколико производа на неколико машина, при чему производи могу имати различит редослед обраде. Поред концепта *Just-in-time* који се употребљава у ширем смислу у управљању производњом, *Just-in-time* распоређивање подразумева распоређивање у правом тренутку. *Just-in-time* критеријум неког распореда представља укупну меру одступања временског тренутка када су распоређени производи завршили обраду и временског тренутка када је планирано да буду завршени.

У даљем тексту се најпре описује *Job Shop* проблем. Након тога представља се проблем кроз математички модел и њему одговарајући модел у *MiniZinc* моделујућем језику. У четвртном делу се описује приступ вишекритеријумске оптимизације кроз методу ϵ -ограничења. Пети део рада представља нумерички експе-

римент, у коме је на примеру *Job Shop* проблема са *Just-in-time* критеријумским функцијама спроведена метода ϵ – ограничења. У шестом делу се даје закључак рада.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Job Shop је проблем распоређивања n производа на m машина при чему сваки производ има различит и унапред одређен редослед обраде. *Job Shop* подразумева процесно организовану производњу, познату као прекидна или радионичка производња. То је тип производње великог варијетета, а малог обима, који се често среће у производним организацијама. Овај тип производног система карактерише то да је распоред машина организован и груписан према процесу обраде; да се производи најчешће праве по наруџбини; да се производи значајно разликују у погледу коришћених материјала, захтева операција обраде и њиховог редоследа, као и времена обраде. Суштина проблема распоређивања је, у оквиру расположивог капацитета машина, дефинисати редослед производа на свакој машини, имајући у виду да сваки производ захтева различито временско ангажовање. У општем случају, ради се о врло сложеном проблему који припада класи НП (*Non-deterministic Polynomial*) тешких проблема. Проблем *Job shop* је НП тежак проблем, већ за проблем минимизације времена завршетка обраде два производа ($J2||C_{max}$), што је представљено у раду [4]. Због тога се за решавање практичних *Job Shop* проблема великих димензија користе хеуристичке методе [5,6]. Свеобухватно истраживање сложености проблема распоређивања, са једним критеријумом приказано је у [7].

3. МОДЕЛИРАЊЕ ПРОБЛЕМА *JOB SHOP*

3.1 Математички модел

Проблему *Job Shop* одговара математички модел мешовитог целобројног програмирања [2] са следећим ознакама:

n – број производа које је неопходно распоредити;
 m – укупан број машина на којима је потребно извршити распоређивање;

j – индекс који означава производ, $j = 1, \dots, n$;

i – индекс који означава машину, $i = 1, \dots, m$;

(j, i) – представља уређени пар тј. операцију обраде j -тог производа на i -тој машини.

Параметри у моделу су:

d_{ji} – време обраде j -тог производа на i -тој машини тј. временско трајање операције (j, i) ;

dd_j – рок за завршетак j -тог производа.

Управљачке променљиве у моделу су:

s_{ji} – временски тренутак почетка обраде j -тог производа на i -тој машини;

a_{jk} – бинарна променљива узима вредност 1 ако j претходи k , и вредност 0 у супротном; при чему M представља велики позитиван број.

C_{max} – мајоранта завршека обраде свих производа.

Математички модел има следећи облик:

Критеријумска функција (1.1) означава време завршетка обраде последњег распоређеног производа

(па самим тим и целокупне производње). Ограничења (1.2) у моделу обезбеђују да свака наредна операција $(j, i+1)$ не може почети пре него што се претходна (j, i) заврши. Наредно ограничење (1.3) показује да време завршетка сваке операције није после времена завршетка обраде последњег производа. Ограничења (1.4) и (1.5) заједно представљају дисјунктна ограничења. Ова ограничења означавају да редослед обраде на свакој машини може бити различит, а производи се увек морају обрађивати у поретку (j -ти пре k -тог, и обратно) а никада истовремено на истој машини. Поред функције циља C_{max} , која је представљена у математичком моделу, у практичним проблемима распоређивања планери су најчешће сучинени са више од једног циља који је потребно испунити [2]. Разноврсност проблема распоређивања може водити и ка великом броју критеријумских функција. Аутори T'kindt & Billaut [8] наводе две групе најчешће коришћених функција циља. Прву групу чине „*max*“ функције које приказују максималну вредност у скупу распоређених производа: $C_{max} = \max\{c_{ji}\}$ - временски тренутак завршетка обраде последњег распоређеног производа (где је $c_{ji} = s_{ji} + d_{ji}$, крај обраде j -тог производа на i -тој машини); највеће временско кашњење завршетка обраде производа: $T_{max} = \max_j(T_{ji})$, где је $T_{ji} = c_{ji} - dd_j$ кашњење са завршетком обраде j -тог производа на i -тој машини; најраније време завршетка обраде производа: $E_{max} = \max_j(E_{ji})$, где је $E_{ji} = dd_j - c_{ji}$ ранији завршетак обраде j -тог производа на i -тој машини. Другу групу чине „*sum*“ функције које представљају збирне вредности у скупу распоређених производа: збир времена завршетка

обраде производа ($\sum_{j=1}^n C_{ji}$). Ова функција може бити

представљена и са тежинским коефицијентима ($\sum_{j=1}^n w_j C_{ji}$). Укупно кашњење обраде свих производа

($\sum_{j=1}^n T_{ji}$), такође може бити представљено преко тежинских коефицијената који могу представљати трошкове

кашњења ($\sum_{j=1}^n w_j T_{ji}$). Укупни ранији завршетак обраде

производа ($\sum_{j=1}^n E_{ji}$). Циљ успешног распоређивања је

минимизација претходно дефинисаних *max* и *sum* функција. Поред претходно дефинисаних основних критеријумских функција постоје и она који су изведени као њихова комбинација. Групу функција које комбинују критеријуме E_{ji} и T_{ji} , аутори T'kindt & Billaut [8] називају *Just-in-time* критеријуми. *Just-in-time* (*JIT*) потиче од концепта у управљању производњом који се појавио након Другог светског рада у Тојотиним фабрикама аутомобила. Суштина овог приступа је да се у производним системима тежи планирању производње у коме ће производи бити готови или испоручени баш у тренутку када је потребно да буду коришћени за дистрибуцију крајњем кориснику или за даљу употребу у процесу стварања вредности. *JIT* приступ у распоређивању подразумева да се приликом распоређивања води рачуна о следећим критеријумима (ранији или превремене завршетак обраде, ка-

шњење са завршетком обраде производа, укупно време завршетка обраде свих производа).

Неки од *JIT* критеријума који се користе у решавању проблема распоређивања се даље представљају: Укупно одступање од рока за завршетак обраде ($\sum_{j=1}^n E_{ji} + \sum_{j=1}^n T_{ji}$). Укупно одступање може бити пред-

стављено и као просечно одступање $\left(\sum_{j=1}^n E_{ji} + \sum_{j=1}^n T_{ji}\right)/n$ или

квадратно одступање $\left(\sum_{j=1}^n E_{ji}^2 + \sum_{j=1}^n T_{ji}^2\right)$. Такође ако се

уведу и тежински коефицијенти у виду трошкова кашњења или ранијег завршетка, одступање може имати

и следећи облик $\left(\sum_{j=1}^n w_j' E_{ji} + \sum_{j=1}^n w_j'' T_{ji}\right)$. Ова фун-кција је

позната и под именом *Just-in-time* трошкови (*JITtr*). Суштина оптимизације по *JIT* критеријумској функцији је балансирање (*trade off*) између ранијег завршетка производа и кашњења у односу на рок завршетка. Поред приказаног у овом раду постоји још могућности за комбиновање критеријума (E_{ji} и T_{ji}) које су детаљније представљене у [8, 9].

3.2. Модел у MiniZinc моделујућем језику

MiniZinc је моделујући језик намењен за моделовање проблема дискретне оптимизације и проблема програмирања ограничења. У себи садржи имплементирани солвер намењене за решавање наведених проблема. *MiniZinc* је развијен од стране *Monash* универзитета и *NICTA (National ICT Australia)* организације. Сада се представља модел *Job Shop* проблема распоређивања у *MiniZinc* моделујућем језику.

```
int: n;
set of int: JOB = 1..n;
int: m;
set of int: MACH = 1..m;
set of int: TASK = 1..m;
array[JOB, TASK] of int: d;
array[JOB, TASK] of MACH: mc;
array [JOB] of int: dd;
int: maxt = sum(j in JOB, t in TASK) (d[j, t]);
array[JOB, TASK] of var 0..maxt: s;
constraint forall(j in JOB, t in 1..m-1) (s[j, t] + d[j, t]
<= s[j, t+1]);
constraint forall(j1, j2 in JOB, t1, t2 in TASK where j1 <
j2 /% mc[j1, t1] = mc[j2, t2])
(nonoverlap(s[j1, t1], d[j1, t1], s[j2, t2], d[j2, t2]));
Predicate nonoverlap (var int:s1, var int:d1, var int:s2,
var int:d2) = s1 + d1 <= s2 /% s2 + d2 <= s1;

var 0..maxt: makespan = max(j in JOB) (s[j, m] + d[j, m]);
solve minimize makespan;
output ["Cmax = ", show(makespan).];
```

4. МЕТОДА ϵ -ОГРАНИЧЕЊА

Највећи део литературе из области проблема распоређивања [1,2] разматра овај проблем распоређивања само са аспекта једне функције циља. Постојањем великог броја различитих критеријума намеће се проблем вишекритеријумске оптимизације у проблемима

распоређивање. Суштина овог проблема је проналажење Парето-оптималних распореда за више конфликтних критеријума [8]. За Парето-оптималан распоред важи да није могуће смањити вредност једног критеријума без повећања барем једне вредности међу другим критеријумима [2]. Према [9] највише заступљени *a priori* приступи у решавању проблема вишекритеријумске оптимизације распоређивања су: метода тежинских коефицијената, лексикографска метода, циљно програмирање; а у *a posteriori* приступу: проблем енумерације свих Парето-оптималних решења.

Поред поменутих, метода ϵ – ограничења представља једну од најпознатијих и највише коришћених у вишекритеријумској оптимизацији [10]. Суштина ове методе је издвајање и оптимизација једног критеријума уз превођење осталих критеријума у ограничења. Метода ϵ -ограничења гарантује доносиоцу одлуке проналажење барем слабо Парето-оптималног решења [9, стр. 99]. Уколико ову методу примењујемо у *a posteriori* приступу, итеративним подешавањем ϵ вредности за различите критеријумске функције можемо добити сва Парето-оптимална решења [9, стр. 100]. Овде се намеће проблем адекватног дефинисања ϵ вредности. Оптимизацијом једне функције уз ограничавање друге функције преко ϵ ограничења у овој методи генерише мноштво ефикасних решења међу којима су нека слабо Парето-оптимална решења. Аутори рада, за две критеријумске функције, представљају поступак за проналажење свих Парето-оптималних решења међу којима нема слабих.

Корак 1: Проналажење ефикасних маргиналних решења (x_1, x_2) по сваком критеријуму (решавање једнокритеријумских проблема: $f_1^* \leftarrow \min f_1(x); f_2^* \leftarrow \min f_2(x)$). Вредности $(f_1^*; f_2^*)$ представљају идеалне вредности функција и одређују доњу границу ($ДГ_1$ и $ДГ_2$). Вредност функција $(f_1(x_2), f_2(x_1))$ која није оптимизована приликом добијања маргиналних решења одређује њихову горњу границу ($ГГ_1$ и $ГГ_2$). Подесити бројач итерација $I = 0$. Ставити добијена ефикасна маргинална решења у листу Парето-оптималних решења P ;

Корак 2: Повећати бројач $I \leftarrow I+1$. Оптимизовати прву функцију $f_1^{(I)} \leftarrow \min f_1(x)$, уз ограничавање другог критеријума ($f_2(x) \leq \epsilon_2 = ГГ_2 - I$). Генерисану вредност за прву критеријумску функцију искористити за дефинисање доње границе за $f_1(x)$, ($ДГ_1 = f_1^{(I)}$)

Корак 3: Оптимизација друге критеријумске функције $f_2^{(I)} \leftarrow \min f_2(x)$, уз ограничавање првог критеријума ($f_1 \leq \epsilon_1 = ДГ_1$). Генерисану оптималну вредност за другу критеријумску функцију ($f_2^{(I)}$) у овој итерацији искористити за дефинисање ($ГГ_2 = f_2^{(I)}$) у наредној итерацији. Добијено решење додати у листу Парето-оптималних решења P . Вратити се на корак 2.

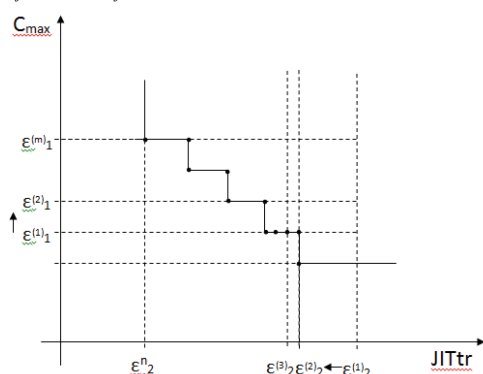
Крај: Итеративно смањивати вредност друге критеријумске функције ($f_2(x)$) док се не добије $ГГ_2 = ДГ_2$.

5. НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР

За потребе представљања примене методе ϵ ограничења са претходно представљеним алгоритмом, узет је *Job Shop* проблем распореда 8 производа на 10 ма-

шина, са две критеријумске функције C_{\max} и

$$JIT_{tr} = \sum_{j=1}^n w'_j E_j + \sum_{j=1}^n w''_j T_j.$$



Слика 1: Приказ критеријумског простора и итеративног начина ϵ -ограничавања

Вредности критеријумских функција за маргинална решења која су добијена оптимизацијом по једној критеријумској функцији била су: ($C_{\max opt} = 57$; $JIT_{tr} = 602$) и ($JIT_{tr opt} = 293$; $C_{\max opt} = 70$). Наизменичним превођењем две критеријумске функције у ϵ -ограничења (као што је приказано у поступку у делу 4 овог рада) елиминишу се слаба Парето-оптимална решења.

Табела 1: Генерисање Парето-оптималних решења

Ит.	ϵ_2	JIT_{tr}	C_{\max}	ϵ_1	JIT_{tr}	C_{\max}
1	$JIT_{tr} \leq 601$	505	57	$C_{\max} \leq 57$	376	57
2	$JIT_{tr} \leq 375$	375	58	$C_{\max} \leq 58$	369	58
3	$JIT_{tr} \leq 368$	368	59	$C_{\max} \leq 59$	356	59
4	$JIT_{tr} \leq 355$	355	60	$C_{\max} \leq 60$	343	60
5	$JIT_{tr} \leq 342$	342	61	$C_{\max} \leq 61$	332	61
6	$JIT_{tr} \leq 331$	331	62	$C_{\max} \leq 62$	310	62
7	$JIT_{tr} \leq 309$	309	63	$C_{\max} \leq 63$	306	63
8	$JIT_{tr} \leq 305$	305	64	$C_{\max} \leq 64$	302	64
9	$JIT_{tr} \leq 301$	301	65	$C_{\max} \leq 65$	298	65
10	$JIT_{tr} \leq 297$	297	66	$C_{\max} \leq 66$	297	66
11	$JIT_{tr} \leq 296$	296	67	$C_{\max} \leq 67$	296	67
12	$JIT_{tr} \leq 295$	295	68	$C_{\max} \leq 68$	295	68
13	$JIT_{tr} \leq 294$	294	69	$C_{\max} \leq 69$	294	69
14	$JIT_{tr} \leq 293$	293	70	$C_{\max} \leq 70$	293	70

Резултати примене алгоритам за итеративно генерисање свих Парето-оптималних решења дат је у табели 1. Након 14 итерација генерисана су сва Парето-оптимална решења. Примећује се да приближавањем оптималној вредности за други критеријум ($JIT_{tr} = 293$) алгоритам почиње генерисати у свакој итерацији иста решења у корацима K2 и K3. Сходно томе, алгоритам се може додатно унапредити уколико се такво стање препозна и даље предупреди, спровођењем само једног од корака K2 или K3.

6. ЗАКЉУЧАК

У овом реду описан је *Job shop* проблем распоређивања у *JIT* концепту производње. Проблем је моделиран у *MiniZinc*-у са две критеријумске функције: време завршетка обраде свих производа и трошкови правременог распоређивања (збир трошкова кашњења и трошкова ранијег завршетка обраде). На тај начин дефинисан је проблем вишекритеријумске оптимизације и примењена је метода ϵ -ограничења у његовом решавању. Аутори су се определили за коришћење *a posteriori* приступа у решавању. Имајући у виду да метода ϵ -ограничења генерише и слаба Парето-оптимална решења предложен је алгоритам у неколико корака за генерисање само Парето-оптималних решења. Будући рад аутора огледаће се у имплементацији концепта вишекритеријумског решавања *Job shop* проблема већих димензија у којима се препоручује употреба хеуристика.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Blazewicz, J., Ecker, K., Pesch, E., Schmidt, G., Weglarz, J. *Handbook on Scheduling: From Theory to Applications*. International Handbook on Information Systems, Springer, 2007.
- [2] Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, 4th edition, Springer, 2012.
- [3] Heizer, J., Render, B., *Operations Management*. Prentice Hall, New Jersey, 2011.
- [4] Lenstra, J. K., Kan, A. R., „Computational complexity of discrete optimization problems“. *Annals of Discrete Mathematics*, 4 (1979) 121-140.
- [5] Lee, G. C., Kim, Y. D., Kim, J. G., Choi, S.H., „A dispatching rule-based approach to production scheduling in a printed circuit board manufacturing system“. *Journal of the Operational Research Society*, 54(10) (2003) 1038-1049.
- [6] Parthanadee, P., Buddhakulsomsiri, J., „Simulation modeling and analysis for production scheduling using real-time dispatching rules: A case study in canned fruit industry“. *Computers and electronics in agriculture*, 70(1) (2010) 245-255.
- [7] Brucker, P., Knust, S., *Complexity results for scheduling problems*, Osnabrück University, 2009. Link: <http://www2.informatik.uni-osnabrueck.de/knust/class/> (приступано 21.02.2016).
- [8] T'kindt, V., & Billaut, J. C., *Multicriteria scheduling: theory, models and algorithms*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [9] Vincent, T. K.. Multicriteria models for just-in-time scheduling. *International Journal of Production Research*, 49(11) (2011), 3191-3209.
- [10] Ehrgott, M., *Multicriteria optimization – second edition*. Springer Berlin – Heidelberg, 2005.



ПРИМЕНА КЛАСИФИКАЦИЈЕ ЗАСНОВАНЕ НА ИНСТАНЦАМА СА МЕТОДОМ ПРЕТХОДНОГ УЧЕЊА

APPLICATION OF K-NEAREST NEIGHBORS ALGORITHM WITH WRAPPER METHOD

ЈАСМИНА Ђ. НОВАКОВИЋ

Београдска пословна школа, Висока школа струковних студија, Београд, jnovakovic@sbb.rs

АЛЕМПИЈЕ ВЕЉОВИЋ

Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, Чачак, alempije@beotel.rs

ЛИДИЈА ПАУНОВИЋ

Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, Чачак, lidija.paunovic@ftn.kg.ac.rs

ИВАН ТОТ

Војна академија, Београд, ivanceid@yahoo.com

Резиме: Експериментално смо истраживали перформансе класификатора к најближих суседа са методом претходног учења. Класификатор к најближих суседа се користи у многим областима због једноставности имплементације, јасноће теорије и одличних класификационих перформанси. Експериментална истраживања су показала да је могуће да се побољша тачност класификације к најближих суседа методом претходног учења.

Кључне речи: тачност класификације, $1Bk$, к најближи суседи, метода претходног учења.

Abstract: We experimentally research the performance of the k -nearest neighbors classifier with wrapper method. The k -nearest neighbor has been widely used in many fields because of the implementation simplicity, the clarity of theory and the excellent classification performance. Experimental research shows that it is possible to improve the classification accuracy of the k -nearest neighbors classifier, using the wrapper method for reducing the dimensionality of the data.

Keywords: classification accuracy, $1Bk$, k -nearest-neighbor, wrapper method.

1. УВОД

Шема к најближих суседа користила се још у педесетим годинама двадесетог века, а као поступак класификације појављује се десетак година касније. Класификација заснована на инстанцама спада у најједноставније технике интелигентне анализе података, јер не врши експлицитну генерализацију циљног појма на основу својстава која су изводива из скупа за учење, већ се своди на меморисање скупа за учење, односно појединачних инстанци које садржи [1]. Основни облик алгоритма не укључује процесирање инстанци из скупа за учење у фази конструкције модела, већ само њихово меморисање.

Класификација нових инстанци се обавља према принципу најближег суседа, где се нова инстанца упоређује с меморисаним инстанцама из скупа за учење коришћењем дефинисане метрике [2, 3, 4]. Метрика дефинише растојање инстанци на основу вредности њихових атрибута, а одговара интуитивном схватању сличности инстанци, тако да ако су

инстанце сличније, растојање је мање. Нова инстанца се класификује на основу претраживања скупа за учење са циљем проналажења инстанце која му је у смислу растојања најближа. Нова инстанца која се класификује добија класу те инстанце.

Елемент технике класификације засноване на инстанцама који утиче на облик модела је метрика, при чему је у употреби више различитих метрика, а најчешће се користи Еуклидска. Ако са $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ означимо вектор вредности атрибута произвољне инстанце, Еуклидска метрика је тада дефинисана изразом на следећи начин:

$$x = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1)$$

Еуклидско растојање инстанци x и y се може претставити на следећи начин:

$$d(x, y) = x - y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

На сличан начин могу се дефинисати и друге метрике варирањем потенције координата вектора у дефиницији Еуклидске метрике.

У напред датим изразима (1) и (2) се имплицитно претпоставља да су сви атрибути нумеричког типа, тј. да су вредности координата бројеви, а како би се дефиниција Еуклидског растојања могла применити на номиналне атрибуте, потребно је дефинисати операцију разлике над номиналним вредностима.

Ако су са $a_i, a_j \in \text{Dom}(A_i)$ означене две произвољне вредности номиналног атрибута A_i , онда је разлика вредности a_i и a_j дефинисана 0–1 функцијом разликовања (3), на следећи начин:

$$a_i - a_j = \begin{cases} 0, & \text{за } a_i = a_j \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}$$

(3)

Због различитих скала мерења за различите нумеричке атрибуте постоји проблем везан за коришћење различитих метрика. Зато је код метода класификације засноване на инстанцама уобичајен поступак нормализације свих нумеричких атрибута на интервал $[0,1]$, коришћењем функције (4):

$$f(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

(4)

где x_{\min} и x_{\max} означавају најмању, односно највећу вредност посматраног атрибута. Код метода класификације заснованим на инстанцама неодређене вредности атрибута се третирају слично номиналним атрибутима, тј. проширује се дефиниција операције разлике, тако да се разлика дефинише на начин да је неодређена вредност максимално удаљена од било које посматране вредности атрибута. Слика 1. приказује псеудо код за основни класификатор k најближих суседа.

ПОЧЕТАК

Улаз: $D = \{(x_1, c_1), \dots, (x_N, c_N)\}$

$x = (x_1, \dots, x_n)$ нова инстанца за класификацију

За сваку инстанцу која је класификована (x_i, c_i) израчунај $d(x_i, x)$

Наредба $d(x_i, x)$ од најниже до највише, $(i = 1, \dots, N)$

Изабери k најближе инстанце за $x: D_x^K$

Додели за x најфреквентнију класу у D_x^K

КРАЈ

Слика 1: Псеудо код за основни класификатор k најближих суседа [5]

2. КЛАСИФИКАЦИЈА ЗАСНОВАНА НА ИНСТАНЦАМА

Методе класификације засноване на инстанцама не граде експлицитан модел података у виду неке

функције као што то ради већина метода машинског учења. Зато се класификација не врши на основу већ формулисаног модела, него на основу скупа инстанци за тренинг, тако што инстанце предвиђене за тренирање се чувају и бивају употребљене тек кад је потребно класификовати непознату инстанцу. На овај начин се већина израчунавања премешта из фазе учења у фазу примене.

Метода k најближих суседа се заснива на једноставном принципу да непознату инстанцу треба класификовати у класу чије су инстанце најсличније непозатој. Основни облик класификације заснован на инстанцама има више недостатака:

- Поступак класификације нових инстанци може бити спор у случају великих скупова за учење, будући да класификација сваке инстанце захтева претраживање целог скупа за учење.
- Без коришћења више најближих инстанци показује приличну осетљивост на шум у подацима за учење.
- Такође, није прилагођен проблемима код којих атрибути имају различит класификацијски потенцијал, а класификацијске перформансе посебно нарушавају ирелевантни атрибути.

Овај тип класификације постаје поново популаран почетком 1990-их кроз радове D. Aha [6], у којима се надоградњама основног поступка умањују споменути недостаци, тако што се уводе тежинске вредности атрибута и поступак филтрирања инстанци са шумом, чиме се значајно побољшавају класификацијске способности ове технике, подижући их на ниво упоредив са осталим популарним техникама. Поред овога, одбацивање непотребних инстанци значајно редукује број инстанци који се памте, чиме се значајно смањују потребни ресурси и време класификације.

3. ОПИС ИЗАБРАНИХ ПРОБЛЕМА УЧЕЊА

За потребе експерименталног истраживања користили смо 13 реалних скупова података, преузета из UCI репозиторијума [7]. Ти скупови података су: рак дојке (breast cancer – bc), одобравање кредита (credit approval – ca), кредитни подаци (Statlog german credit data – cg), ултразвук (cardiography – ct), Хепатитис (hepatitis – he), јетра (liver disorders – li), рак плућа (lung cancer – lc), мамографска маса (mammographic mass – ma), гљиве (mushroom – mu), Паркинсон (Parkinson – pa), дијабетес (Pima Indijans diabetes – pi), сегментација слике (image segmentation – se) и соја (soybean – so).

Табела 1: Приказ сетова података

Скуп	Атрибути			Број класа	Тре- нинг
	укупно	категорички	нумерички		
bc	9	9	0	2	286
ca	15	9	6	2	690
cg	20	13	7	2	1000
ct	23	0	23	3	2126

he	19	13	6	2	155
li	6	0	6	2	345
lc	56	0	56	3	32
ma	5	0	5	2	961
mu	22	22	0	2	8124
pa	23	0	23	2	195
pi	8	0	8	2	768
se	19	0	19	7	2310
so	35	35	0	19	683

У табели 1. приказане су упоредне карактеристике посматраних сетова података. Пет сетова података има више атрибута од 20, и то *lc* са 56, *so* са 35, *pa* и *ct* са 23 и *mu* са 22. Најмање атрибута имају сетови података *ma* са 5 и *li* са 6 атрибута. Посматрани скупови података су балансирани јер постоје скупови који садрже само или категоричке или нумеричке атрибуте, као и скупови података који садрже и категоричке и нумеричке податке.

Што се тиче броја класа у посматраним скуповима података, само два скупа података имају већи број класа од 3, и то *se* који има 7 класа и *so* који има 19 класа. Разлог за ово је чињеница, што се у највећем броју случаја у проблемима класификације разврставање постојећих инстанци врши у две, евентуално три класе, а ређе у већи број класа. У табели 1. видимо да број инстанци предвиђен за тренирање варира од малог броја прикупљених инстанци што је случај са *lc* који има само 32 истанце до скупова који имају много већи број инстанци као што је нпр. случај са *mu* који има 8124 инстанци за тренинг.

4. ЕСТИМАЦИЈА ТАЧНОСТИ КЛАСИФИКАЦИЈЕ

Код метода претходног учења користе се одређени алгоритми за моделирање како би се оценили подскупови атрибута у односу на њихову класификацијску или предиктивну моћ. Код ових метода вредност одређеног скупа атрибута изражава се помоћу степена исправности класификације коју постиже модел конструисан уз коришћење тих атрибута. За класификацију, за све скупове података, коришћена је 10-струка унакрсна валидација, која је при томе била увек поновљена 10 пута. Упоредивана је тачност класификације *IBk* на оригиналном скупу података као и на редукованом скупу података добијеном са методом претходног учења.

Табела 2: Број атрибута

Скуп	Ориг. скуп	Редукован
bc	9	4
ca	15	5
cg	20	3
ct	23	9
he	19	6

li	6	5
lc	56	4
ma	5	2
mu	22	5
pa	23	7
pi	8	1
se	19	10
so	35	17

Код ових метода за сваки посматрани подскуп атрибута изграђује се модел и оцењују се његове перформансе, тако да боље перформансе неког модела указују на бољи избор атрибута из којих је модел настао. Поступак избора атрибута је рачунски врло захтеван због учесталог извођења алгорита машинског учења. У овом експерименталном истраживању метода претходног учења, као метода редукације димензионалности података је користила 5-струку унакрсну валидацију.

Исцрпно претраживање подскупова атрибута се може спровести само за мали број атрибута, будући да је тај проблем *NP*-тежак. Зато се користе разне технике претраживања, као што су: најбољи први (енг. *best-first*), гранај-па-ограничи (енг. *branch-and-bound*), симулирано каљење (енг. *simulated annealing*) и генетски алгоритми.

Код методе претходног учења, за претраживање простора решења користили смо хеуристику, како би убрзали претраживање. У овом раду коришћен је хеуристички поступак „похлепног најбољег првог“ (енг. *greedy best-first*), који претражује подскуп атрибута користећи алгоритам успона на врх (енг. *hill climbing*). Постављање броја узастопних чворова са дозвољеним не-побољшањима контролише ниво праћења уназад. Најбољи први може започети са празним скупом атрибута и претраживати према унапред, односно почети са пуним скупом атрибута и претраживати уназад, или почети у било којој тачки и претраживати у оба смера (разматрања свих могућих појединачних атрибута за додавање или брисање у одређеној тачки).

Табела 3: Тачност класификације

Скуп	<i>IBk</i>	<i>IBk_W</i>
bc	72.85	69.81
ca	81.57	85.22 +
cg	71.88	71.70
ct	98.85	98.42
he	81.40	81.85
li	62.22	59.66
lc	68.75	70.67
ma	75.60	83.02 +
mu	100.00	100.00
pa	95.91	93.40

pi	70.62	67.76
se	97.15	97.08
so	91.20	94.77 +

У раду смо користили смер претраживања унапред, што значи да смо започели са празним скупом, а као критеријум за крај претраживања поставили смо 5 узастопних чворова са дозвољеним не-побољшањима. Главни разлог за избор смера претраживања унапред је рачунски, јер је изградња класификатора са неколико атрибута много бржа него када има више атрибута. У експерименталном истраживању, као и код метода филтрирања користили смо упоредни *t*-тест, где је ниво значајности постављен на вредност 0.05.

У табели 2. приказан је оптималан број атрибута за потребе класификације, након претраживања скупа могућих решења. Табела приказује и оригиналну величину скупа, како би се упоредили ефекти редукције димензионалности података. Од 13 посматраних сетова података, на 11 сетова података тачно пола или више од пола је смањен број атрибута уз помоћ метода претходног учења. Највећу добробит од редукције димензионалности података има скуп података *lc*, где од 56 атрибута, методом претходног учења смо издвојили само четири атрибута релевантна за посматрани проблем класификације.

У табели за тачност класификације класификатора и у табели за време потребно за тренинг података су приказане ознаке „+“ и „-“, које означавају да је одређени резултат статистички бољи (+) или лошији (-) од основног класификатора на нивоу значајности који је специфициран на вредност од 0,05.

Табела 3 приказује тачност класификације класификатора *IBk* за оригинални и редуковани скуп података уз помоћ метода претходног учења. У три сета података имамо добијене резултате који су статистички бољи од основног класификатора. Ни у једном сету података немамо значајно лошије податке за методу претходног учења. Метод претходног учења са *IBk* класификатором је у шест скупова података показао исте или боље резултате од *IBk* алгоритма на основном скупу података.

Табела 4: Потребно време за тренинг (у секундама)

Скуп	<i>IBk</i>	<i>IBk_W</i>
bc	0.00	0.96 -
ca	0.00	10.03 -
cg	0.00	23.08 -
ct	0.00	254.81 -
he	0.00	1.30 -
li	0.00	0.59 -
lc	0.00	1.21 -
ma	0.00	3.52 -
mu	0.00	1733.88-
pa	0.00	3.09 -
pi	0.00	4.07 -

se	0.00	122.89 -
so	0.00	68.93 -

У табели 4. приказано је потребно време за тренинг у секундама класификатора *IBk* који користи оригинални и редуковани скуп података уз помоћ метода претходног учења. Потребно време за тренинг података *IBk* класификатора за све оригиналне скупове података износи 0.00 секунди, док за методе претходног учења оно је значајно веће.

5. ЗАКЉУЧАК

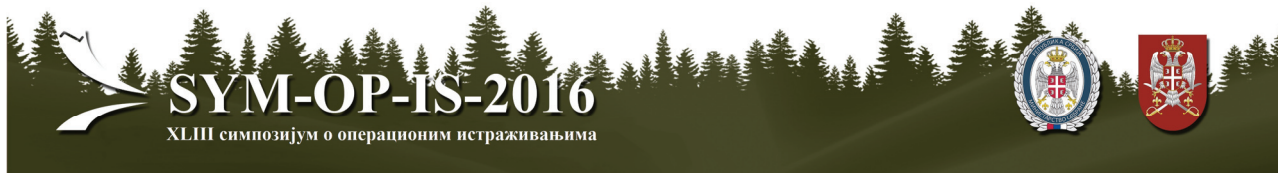
Можемо закључити да је могуће да се побољша тачност класификације *IBk* алгоритма, користећи метод претходног учења за смањење димензионалности података. Да би то доказало, реализовали смо и емпиријски тестирали метод претходног учења за смањење димензионалности података. Експериментални резултати показују да метода претходног учења доприноси откривању и отклањању неважних и сувишних података, као и шума у подацима. У многим случајевима метода претходног учења доприноси већој прецизности класификације.

ЗАХВАЛНИЦА

Аутори се захваљују за подршку Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије - Пројекти ТР 34009 и ТР1653014.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hall, P., Park, B.U., Samworth, R.J. "Choice of neighbor order in nearest-neighbor classification", *the Annals of Statistics*, 36(5):2135-2152, 2008.
- [2] Gil-Garcia, R., Pons-Porrata, A. "A New Nearest Neighbor Rule for Text Categorization", *Lecture Notes in Computer Science* 4225, Springer, New York, 814 – 823, 2006.
- [3] Gou, J., Du, L. Zhang, Y., Xiong, T. "A New Distance-weighted k-nearest Neighbor Classifier", *Journal of Information & Computational Science*, 9(6): 1429-1436, 2012.
- [4] Guo, G., Wang, H., Bell, D., Bi, Y., Greer, K. "Using KNN Model for Automatic Text Categorization", *Soft Computing – A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications* 10(5): 423 – 430, 2006.
- [5] Sadegh Bafandeh Imandoust, Mohammad Bolandraftar, "Application of K-Nearest Neighbor (KNN) Approach for Predicting Economic Events: Theoretical Background", *Int. Journal of Engineering Research and Application*, Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.605-610.
- [6] D. Aha, "Tolerating noisy, irrelevant and novel attributes in instance-based learning algorithms", *International Journal of Man-Machine Studies*, Volume 36, Issue 2, pp. 267–287, Academic Press Ltd, London, UK, Feb. 1992.
- [7] Frank, A., Asuncion A., UCI Machine learning repository [<http://archive.ics.uci.edu/ml>], Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, 2010.



ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ ДИНАМИКЕ УГОВАРАЊА КУЛТУРНЕ РАЗМЕНЕ СТУДЕНАТА

DETERMINATION OF OPTIMAL DYNAMICS OF CONTRACTS IN CULTURAL EXCHANGE OF STUDENTS

МИЛАН МАРТИЋ

Факултет организационих наука, Београд, milan@fon.bg.ac.rs

МИЛИЦА КОСТИЋ-СТАНКОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, milicak@fon.bg.ac.rs

МИЛОШЕВ ДЕЈАНА

Факултет организационих наука, Београд, milosevdejana88@gmail.com

Резиме: У овом раду представљен је проблем одређивања оптималне динамике уговарања културне размене студената, на примеру једне конкретне агенције из Београда која се бави културном разменом студената. Посматрани проблем је формулисан као проблем управљања залихама, који се састоји у избору тачног броја обрада пријава по месецима за одређене позиције за које се студенти пријављују. За налажење оптималног решења овог проблема коришћен је GNU Linear Programming Kit (GLPK), open source softver за решавање проблема линеарног и мешовитог целобројног програмирања.

Кључне речи: културна размена студената, оптимизација, целобројно програмирање

Abstract: In this paper a problem is determining the optimal contracting dynamics of cultural exchange of students in case of a particular agency in Belgrade that deals with cultural exchange of students. The observed problem is formulated as a problem of inventory management, which consists in choosing the exact number of the processing applications during the work months for certain positions for which students apply in this program. To find the optimal solution to this problem it was used the GNU Linear Programming Kit (GLPK), open source software for solving problems of linear and mixed integer programming.

Keywords: cultural exchange of students, optimization, integer programming

1. УВОД

У овом раду се разматра проблем одређивања оптималне динамике уговарања културне размене студената. Програм *Work and Travel* је програм културне размене студената, основан са циљем да омогући студентима широм света да летњи распуст проведу у САД, боравећи, радећи и путујући. Програм је одобрен од стране Владе САД, постоји више деценија и до сада је кроз њега прошло више од 150.000 студената из целог света. Даје могућност студентима да се снађу у средини другачијој од оне у којој су одрасли, да упознају Америку, упознају другу културу, стекну нова пријатељства и унапреде свој ниво знања енглеског језика. Програм је предвиђен да траје 4+1 месеци, од чега радна дозвола траје 4 месеца, а 5-ти месец је предвиђен за путовања и обилазак САД. Избор дестинација је велики, које спрам својих жеља студенти сами бирају [1].

Надаље у раду, представља се проблем динамике набављања потребних позиција на којима ће студенти радити на овом програму, са којим се суочава једна конкретна агенција из Београда, која се бави културном разменом студената [2]. Посматрана је динамика тражње и понуде три доминантне позиције овог програма, у виду позиција у ресторанима, хотелима и осталих позиција.

Прикупљени су подаци из саме агенције, за временски период од претходних 5 година. Од података су обрађене тражње, тј. број пријава и понуда по сваком месецу и свакој позицији за наведени период. Такође разматран је и укупан број расположивих сати за обраду саме документације приликом пријаве студента на одређену жељену позицију.

У поглављу број 2 приказан је опис проблема са којим се суочава дата агенција. Надаље у поглављу број 3 формулисан је и математички модел за дати проблем,

као и предвиђање тражње за наредну godinu. Закључак је дат у последњем поглављу.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Сам процес одвијања припреме културне размене дат је даље у раду.

Постоје спонзорске агенције, које се налазе у Америци и представљају спону између агенција које се баве културном разменом код нас и послодаваца који нуде послове за студенте у Америци. Сам протокол налаже да су спонзорске агенције те које проверавају сигурност и веродостојност самих услова на послу који нуди послодавац, и оне су те које за одређене послове (након што их провере) издају уговоре нашим агенцијама културне размене.

Сам поступак набављања уговора, такозваних ДС2019 формулара, са спонзорским агенцијама почиње сваке сезоне крајем лета/почетком јесени и траје током радних месеци (преко лета агенције не раде, јер је сам програм тада у току). Агенције које се баве културном разменом су те које треба на време да процене колико им треба којих позиција по сваком месецу и пошаљу одређени захтев спонзорским агенцијама које тада треба да прихвате одређени број уговора расположив за агенцију, потом се потписује уговор о одређеном броју уговора које ће потом спонзорска агенција испоручити агенцији културне размене и тада је све спремно за процес.

Студенти се мотивишу за пријаву на програм на разне начине, путем маркетиншких активности или путем личне препоруке, углавном претходних полазника.

Битно је напоменути да круцијалан моменат процене потребног броја позиција за дату godinu по месецима, као и обрада самих уговора за позиције, од стране агенција културне размене, представља време. У случају да се одређени број уговора добијених од спонзорске агенције не искористи током те једне сезоне, постоји извесна могућност раскидања сарадње следеће сезоне са спонзорском агенцијом или у најбољем случају неодобравање потпуне количине потребних уговора следеће године [3].

Када се студент одлучи за позицију коју жели, припрема се документација за сваког студента и шаље спонзорској агенцији назад на увид, која потом након одобрења документације исту враћа агенцији културне размене и све је тада спремно за визуирање у амбасади. Када се испостави да студент испуњава услове које прописује амбасада и прође сам процес визуирања, сам поступак пријаве једног студента се затвара и он је спреман за одлазак на програм.

Проблем се јавља у виду саме динамике уговарања културне размене студената. Након обраде података из претходних пет година и свих седам месеци од октобра до априла, када је сама пријава на програм и могућа, долазимо до јасног закључка да тражња достиже знатан раст у неколико месеци, пре свега услед недовољне

заинтересованости студената у месецима пре марта и априла. Период који претходи том расту у тражњи није апсолутно у тој мери снабдевен позицијама, а ни не обилује тражњом. У моменту када долази до zasiћења тражње и понуде временски период који остаје за саму обраду документације по студенту (узимајући у обзир да студенти морају почети са програмом у Америци већ у мају месецу) није довољан да би сви студенти били нити прихваћени нити обрађени. Ово доводи до неколико веома негативних последица у виду одбијања одређеног броја студената који не могу ни да учествују у процесу обраде, некавалитетне обраде података, тензије међу запосленима, незадовољства студената и неискоришћености свих понуда до тог момента пристиглих. Јасно је да у случају када би се могло утицати на већи број и понуђених позиција у претходним месецима (у односу на оне доминантне) као и пријаву самих студената раније, постојала би могућност како за већим задовољством свих стејкхолдера тако и за већом обрадом и већим профитом саме агенције културне размене. Све наведено изискује додатно ангажовање саме агенције у циљу мотивисања студената на ранију пријаву у виду оглашавања, промотивних акција, одржавања трибина итд., самим тим све наведено захтева и постојање додатних трошкова.

3. ФОРМУЛАЦИЈА МОДЕЛА

Полазећи од расположивих података и основног циља ове агенције формулише се општи математички модел. Општи математички модел оптималне динамике уговарања културне размене је приказан надаље у тексту.

Полазимо од тога да постоји P - позиција и M - месеци рада ($i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,P$).

pr_{kj} -пријава за j -ту позицију у k -том временском периоду

pon_{kj} -оптималан број обрађених пријава j -ту позицију у k -том временском периоду

h_i -укупно расположиво време у сатима у i -том временском периоду

vo -време у сатима обраде једне пријаве

tr_i -трошкови промоције

Математички модел у коме је поребно одредити колико у k -том временском периоду треба обрадити j -тих позиција:

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^P tr_i \left[\sum_{k=1}^i (pon_{kj} - pr_{kj}) \right] \quad (1)$$

п.о.

$$\sum_{k=1}^i (pon_{kj} - pr_{kj}) \geq 0 \quad (2)$$

$$(i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,P)$$

$$\sum_{j=1}^P vo\ pon_{ij} \leq h_i \quad (3)$$

$$(i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,P)$$

$$pr_{kj} \geq 0$$

Формулација модела одговара математичком моделу управљања залихама [4]. Функција циља представља укупне додатне трошкове који настају услед мотивисања студената за полазак на програм (оглашавање, трибине, промотивне акције, рекламни материјал итд.). Ограничењем (2) се обезбеђује да се у сваком периоду склопе сви уговори за које постоји интересовање. Ограничење (3) се односи на

расположи број сати за обраду уговора у сваком од периода.

4. НУМЕРИЧКИ РЕЗУЛТАТИ

Формулисани математички модел је коришћен за решавање проблема динамике склапања уговора у агенцији културне размене из Београда која се бави програмом *Work and Travel* и шаље студенте на овај програм у Америку. Историјски подаци о склољеним уговорима односе се на период од 2012. године до 2016. године У Табели 1 приказан је број пријава (у табели означено са ПР.) као и број понуда (у табели означено са ПО.) за позиције које су подељене у три категорије: хотели, ресторани и остало. Ови подаци су приказани по месецима у току којих агенција послује у једној години, у Табели 1 означених са: јануар -1, фебруар -2, март -3, април-4, октобар-10, новембар-11, децембар -12.

Табела 1: Понуда и пријава по свим месецима за период од 2012. до 2106. године једне агенције из Београда

mesec	godina	PR. HOTELI	PR. RESTORANI	PR. OSTALO	PON. HOTELI	PON.RESTORANI	PON. OSTALO	Ukupna prijava	Ukupna ponuda
1	2012	2.00	3.00	2.00	1.00	3.00	2.00	7.00	6.00
1	2013	1.00	4.00	2.00	3.00	3.00	0.00	7.00	6.00
1	2014	1.00	2.00	1.00	5.00	2.00	3.00	4.00	10.00
1	2015	2.00	2.00	1.00	10.00	7.00	2.00	5.00	19.00
1	2016	4.00	7.00	2.00	10.00	5.00	3.00	13.00	18.00
2	2012	1.00	2.00	1.00	5.00	6.00	1.00	4.00	12.00
2	2013	2.00	5.00	2.00	7.00	4.00	4.00	9.00	15.00
2	2014	5.00	6.00	3.00	5.00	11.00	1.00	14.00	17.00
2	2015	7.00	10.00	5.00	13.00	23.00	4.00	22.00	40.00
2	2016	8.00	9.00	2.00	15.00	30.00	1.00	19.00	46.00
3	2012	5.00	10.00	3.00	3.00	2.00	3.00	18.00	8.00
3	2013	6.00	5.00	1.00	3.00	5.00	0.00	12.00	8.00
3	2014	4.00	8.00	2.00	2.00	5.00	3.00	14.00	10.00
3	2015	10.00	18.00	4.00	6.00	3.00	3.00	32.00	12.00
3	2016	12.00	17.00	5.00	7.00	3.00	3.00	34.00	13.00
4	2012	3.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00	5.00	2.00
4	2013	7.00	8.00	1.00	1.00	4.00	0.00	16.00	5.00
4	2014	5.00	9.00	4.00	2.00	3.00	3.00	18.00	8.00
4	2015	17.00	18.00	2.00	4.00	2.00	3.00	37.00	9.00
4	2016	14.00	15.00	0.00	2.00	1.00	3.00	29.00	6.00
10	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	2011	0.00	0.00	0.00	1.00	4.00	0.00	0.00	5.00
11	2012	1.00	1.00	0.00	2.00	5.00	2.00	2.00	9.00
11	2013	3.00	3.00	1.00	3.00	4.00	1.00	7.00	8.00
11	2014	2.00	2.00	1.00	4.00	10.00	1.00	5.00	15.00
11	2015	2.00	3.00	1.00	5.00	15.00	2.00	6.00	22.00
12	2011	2.00	4.00	2.00	2.00	5.00	2.00	8.00	9.00
12	2012	3.00	2.00	1.00	4.00	4.00	1.00	6.00	9.00
12	2013	3.00	3.00	1.00	4.00	6.00	1.00	7.00	11.00
12	2014	7.00	11.00	3.00	8.00	16.00	3.00	21.00	27.00
12	2015	9.00	13.00	4.00	10.00	10.00	2.00	26.00	22.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

На основу прикупљених података из претходног периода, извршено је предвиђање могућих обрађених пријава односно обрађене тражње по сваком месецу за 2016/17. годину. Ово предвиђање је приказано у Табели 2. Међутим, мора се узети обзир и чињенично стање сарадње дате агенције културне размене са новим спонзорским агенцијама, која треба да се оствари током овог лета, а сами преговори су увелико у току. Овај податак свакако утиче на реалну чињеницу већег броја понуђених позиција и самим тим веће обраде пријава. Сходно томе, предвиђања за

следећу годину су ревидирана према субјективном мишљењу запослених дате агенције из Београда. Измењена предвиђања на основу њиховог мишљења су приказана у загради, означена црвеном бојом. Јасно се види да је по ревидираном предвиђању могућ већи број укупних обрађених пријава са броја 128 на број 158, за сезону 2016/17.

Табела 2: Предвиђање обрађених пријава и ревидирано предвиђање за 2016/17. годину

	Prijava restorana	Prijava hotela	Prijava ostalo
Oktobar	0 (1)	0 (1)	0 (1)
Novembar	4 (7)	5 (8)	3 (4)
Decembar	12 (10)	8 (9)	4 (3)
Januar	5 (10)	3 (5)	2 (7)
Februar	10 (15)	6 (9)	3 (5)
Mart	14 (12)	11 (15)	5 (10)
April	16 (12)	16 (13)	1 (2)

Формулисан математички модел је решен егзактно а за налажење оптималног решења коришћен је GNU *Linear Programming Kit (GLPK)*, *open source* softver за решавање проблема линеарног и мешовитог целобројног програмирања (*GLPK*, 2013) [3]. Оптимално решење добијено применом *GLPK* софтвера јасно показује би минималан трошак спровођења овог модела износио 1610 новчаних јединица. А решења добијена помоћу овог софтвера су приказана у Табели 3.

Табела 3: Оптимална решења добијена применом *GLPK* софтвера

	Prijava restorani	Prijava hoteli	Prijava stalo
Oktobar	1	1	1
Novembar	7	8	4
Decembar	21	9	6
Januar	18	9	19
Februar	0	22	0
Mart	13	5	0
April	7	6	2

Такође долазимо до сазнања, да би за октобар и новембар према предвиђеним пријавама били искоришћени капацитети за све три позиције. Међутим, за децембар се добија решење које показује да се уместо предвиђених 10 позиција ресторана, може обрадити 21 пријава за ову позицију како би се капацитети искористили, такође приказано је и да се уместо предвиђене 3 остале позиције оптимално могло обрадити ових 6 осталих позиција у децембру. У јануару такође долазимо до знатних разлика у предвиђеном броју и добијеном решењу. Оно показује да се уместо предвиђених 10 позиција (ресторани), 5 позиција (хотели) и 7 позиција (остало) може редом обрадити 18, 9 и 19 позиција. Док у фебруару, уместо предвиђених 9 позиција хотела, чак 22 позиције хотела би се могле обрадити. Међутим за месеце март и април, оптимално решење показује да ће предвиђени број обрада пријава самим тим бити смањен. Како бисмо установили кретање додатних трошкова при ангажовању још једног радника у агенцији, формулисани математички модел смо поново решавали за два додатна сценарија. Први сценарио је био већи број расположивих сати обрада пријава услед ангажовања једног новог запосленог који би радио са пола радног времена, а други сценарио је био ангажовање једног новог запосленог који би радио пуно радно време. Након

решавања модела, поново уз помоћ GNU *Linear Programming Kit (GLPK)*, *open source* софтвера за решавање проблема линеарног и мешовитог целобројног програмирања, дошли смо до следећих резултата: у случају ангажовања пола смене једног новог радника додатни трошкови би износили, уместо претходних 1610 новчаних јединица, 785 новчаних јединица. Док би за ангажовање једног новог радника који би радио пуно радно време додатни трошкови износили свега 140 новчаних јединица. Свакако да би се ради детаљније анализе овог проблема морала спровести и *COST-BENEFIT* анализа. Самим тим, оваквом динамиком културне размене студената би се искористили капацитети расположивог времена на оптималан начин, а месеце март и април, који су до сада били презасићени и директно утицали на квалитет пружања услуга и сарадњу са стејкхолдерима, би се свакако растеретили и тиме би се остварило оптимално решење нашег проблема.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је приказан математички модел проблема одређивања оптималне динамике уговарања културне размене студената, који је примењен на примеру агенције која се бави културном разменом студената, из Београда. У обзир су узети сви услови које треба испунити приликом спровођења уговарања културне размене: број расположивих сати обраде, радни месеци, различите позиције, итд. Приликом моделирања, проблем је сведен на општи проблем управљања залихама. С обзиром да квалитет оптималног решења зависи и од низа других фактора који подразумевају и услове амбасаде који су на годишњем нивоу променљиви за овај програм, услови школовања (могућност студената који су заинтересовани за програм да неке испите полагају у предроку) итд., даљи рад ће бити усмерен на даље развијање модела и решавање проблема у области оптималне динамике уговарања културне размене студената.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] GLPK, www.gnu.org/software/glpk/, последњи приступ јун 2016.
- [2] www.studentadventures.rs, последњи приступ јун 2016.
- [3] K'onya, I., *Modeling cultural barriers in international trade*, Mimeo, Northwestern University, 2000.
- [4] С. Крчевинац, М. Чангаловић, В. Ковачевић-Вујић, М. Мартић, *Операциона истраживања*, ФОН, Београд, 2006.
- [5] K'onya, I., *Optimal migration, assimilation and trade*, Mimeo, Northwestern University, 2001



КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ЗАДОВОЉСТВА СТУДЕНАТА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

COMPARATIVE ANALYSIS OF STUDENTS' SATISFACTION IN SERBIA

ОЛИВЕРА ГРЉЕВИЋ

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, oliverag@ef.uns.ac.rs

ЗИТА БОШЊАК

Универзитет у Новом Саду, Економски факултет у Суботици, bzita@ef.uns.ac.rs

LEHEL NYERS

nyers.lehel@gmail.com

Резиме: *Регрутовање и задржавање студената представљају велике изазове високошколских институција. Како би се унапредио однос са постојећим студентима и осигурао позитиван маркетинг од уста до уста неопходно је испитати ставове студената према високошколској институцији, као и њихово задовољство и незадовољство. Откривено знање може да усмери високошколске институције ка унапређењу оних области које представљају уско грлу. У раду су приказани начини на које се могу употребити јавно доступни подаци са друштвених медија у анализи задовољства студената.*

Кључне речи: *задовољство студената, високо образовање, друштвени медији.*

Abstract: *Student recruitment and retention represent great challenges for higher education institutions. In order to improve relationship with current students and ensure positive word of mouth marketing it is necessary to reveal students' attitudes towards higher education institution, as well as their satisfaction and dissatisfaction. The discovered knowledge can direct the institutions to improve business fields that are considered to be bottlenecks. This paper illustrates how publicly available data, on social media, can be used to analyse students' satisfaction.*

Keywords: *student satisfaction, higher education, social media.*

1. УВОД

Процена задовољства студената наставним процесом и особљем у Републици Србији се углавном врши анкетирањем. Анализа дистрибуираних упитника резултује корисним сазнањима о квалитету реализоване наставе, наставним материјалима и коректности професора у комуникацији са студентима. Упитнике може прописати универзитет или факултет што опредељује ниво анализе задовољства студената: на нивоу универзитета или на нивоу једне институције. Оваква анализа не резултује свеобухватном евалуацијом задовољства студената у Србији и потпуно занемарује један од вредних извора података – друштвене медије.

Друштвени медији представљају платформу за слободно исказивање мишљења појединаца у форми објава на форумима, блогovima, рецензирањем производа и услуга, давањем препорука на сајтовима друштвених мрежа и друго. Кориснички генерисани садржаји на друштвеним медијима имају снажан утицај на друге појединце [1], [2], [3], [4] отуда је њихова анализа посебно значајна у праћењу задовољства потрошача и корисника услуга, у праћењу репутације компаније или брeнда [3], [5].

Искуства из других домена и успешни примери праксе [[6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]] послужили су као основна мотивација за прикупљање студентских рецензија наставног особља са сајтова друштвених медија и за њихову компаративну анализу по универзитетима у Србији. У другом поглављу рада описан је поступак креирања скупа сачињеног из онлајн рецензија наставног особља. У трећем поглављу приказани су резултати њихове анализе по универзитетима у Србији, који откривају обрасце студентског задовољства и незадовољства. У последњем поглављу дата су закључна разматрања.

2. ФОРМИРАЊЕ СКУПА СТУДЕНТСКИХ РЕЦЕНЗИЈА НАСТАВНОГ ОСОБЉА

Да би се скуп података сматрао репрезентативним он мора обухватити рецензије наставног особља са свих универзитета у Србији. Сајт за рецензирање *Оцени професора*¹ обухвата све државне и приватне универзитета у Србији, а број расположивих рецензија зависи од степена ангажовања студената појединих факултета. На овом сајту студентима је дата могућност да оцене своје професоре према четири предефинисана

¹ <http://oceniprofesora.com/>

аспекта (корисност и интересантност предавања, ко- ректност комуникације са предметним наставником и доступност и квалитет материјала), као и да уз оцене оставе рецензију. Са сајта је преузето 2.284 странице. Свака страница представља профил једног професора са максимално пет рецензија.

Препроцесирање прикупљених рецензија подразуме- вало је кориговање слова са дијакритичким знацима (ш, ч, ћ, ж, њ), кориговање правописних грешака, уклањање рецензија које нису писане на српском јези- ку, уклањање упитних реченица којима се не исказује задовољство и раздвајање преузетих страница тако да један фајл садржи једну рецензију професора². Дета- љан поступак припреме података и креирања скупа података описан је у раду [14]. Резултат препроцеси- рања је коначан скуп података којег чини 3.863 рецен- зија, односно фајлова. Број рецензија је већи од броја преузетих страница, јер једна преузета страница може да обухвата од 1 до 5 рецензија наставника.

Табела 1. и табела 2. приказују дистрибуцију прику- пљених рецензија по државним и приватним универ- зитетима, респективно. Може се закључити да су сту- денти државних универзитета активнији у односу на студенте приватних универзитета, као и да број преу- зетих рецензија кореспондира величини универзитета.

Табела 1: Дистрибуција рецензија по државним универзитетима

Naziv univerziteta	n	%
Univerzitet u Beogradu	1542	41.82
Državni univerzitet u Novom Pazaru	134	3.63
Univerzitet u Kragujevcu	78	2.12
Univerzitet u Nišu	362	9.82
Univerzitet u Novom Sadu	886	24.03
Univerzitet u Prištini	51	1.38
Univerzitet umetnosti u Beogradu	161	4.37
Državne visoke škole	473	12.83
Ukupno	3687	100

Табела 2: Дистрибуција рецензија по приватним универзитетима

Naziv univerziteta	n	%
Megatrend univerzitet	57	14.43
Privredna akademija	2	0.51
Univerzitet Alfa	16	4.05
Univerzitet Educons	7	1.77
Univerzitet Metropolitan	8	2.03
Univerzitet Singidunum	228	57.72
Univerzitet Union	14	3.54
Privatne visoke škole	63	15.95
Ukupno	395	100

Radi kreiranja adekvatnog skupa za evaluaciju student- ског задовољства прикупљене рецензије су обogaћене додатним информацијама о теми/аспекту и поларите- ту. У овом поступку ангажоване су четири високоо-

2 Под професором се подразумева сво наставно особље за- послено на високошколским институцијама: редовни про- фесори, ванредни професори, доценти, асистенти са док- торатом, асистенти, сарадници у настави, истраживачи приправници.

бразоване особе, које су током периода од 5 месеци вршиле мануелно аотирање садржаја према унапред дефинисаним критеријумима. Садржаји у којима сту- денти исказују незадовољство означени су као нега- тивни, док су садржаји у којима студенти исказују за- довољство означени као позитивни. Такође, вршено је и означавање предмета рецензирања. Иако је основна идеја сајта *Оцени професора* рецензирање самог про- фесора, студенти у својим рецензијама неретко пишу и о другим темама: квалитету и интересантности пре- давања, односу професора према студентима, садржи- ни предмета, квалитету и доступности наставних ма- теријала или организацији предмета. Наведене теме су мануелно придружене текстовима. Овако означени садржаји послужили су као полазна основа за анализу задовољства студената.

3. АНАЛИЗА ЗАДОВОЉСТВА СТУДЕНАТА

Услед чињенице да број рецензија наставног особља са појединих приватних универзитета није статистич- ки значајан, у даљој анализи нису обухваћене следеће институције: Привредна академија, Универзитет Ал- фа, Универзитет Едуонс, Универзитет Метрополитан и Универзитет Унион. Додатно, нису разматране ре- цензије које се односе на државне и приватне високе школе.

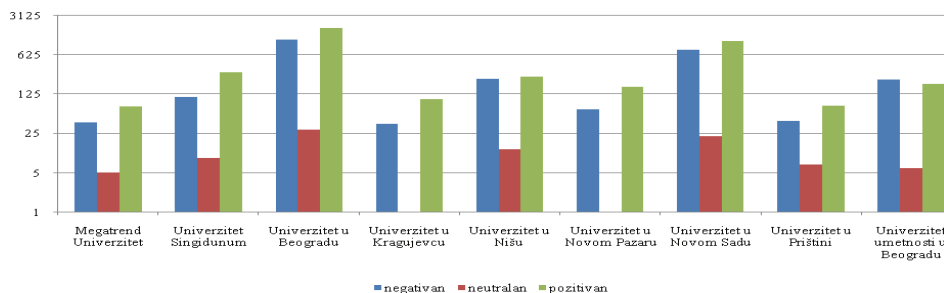
Студенти свих универзитета претежно исказују пози- тиван став, иако је одступање између броја позитив- них и негативних коментара минимално. Изузетак су студенти Универзитета уметности у Београду, који претежно исказују незадовољство, слика 1.

На свим посматраним универзитетима доминантна те- ма рецензирања је професор, што је у складу са при- родом сајта *Оцени професора*, слика 2. Осцилације у патернима рецензирања забележене су по питању осталих тема. Заступљеност појединих тема у скупу може указати на аспекте које студенти у већој или ма- њој мери цене. Након карактеристика професора, сту- денти сматрају релевантним квалитет односа профе- сора према студентима. На свим универзитетима, изу- зев на Универзитету Сингидунум, ово представља други доминантан предмет рецензирања. У већини случајева однос према студентима је праћен темом предавања. Чињеница да студенти појединих универ- зитета у својим рецензијама не спомињу организацију предмета, предмет и материјале (Универзитет Мега- тренд – предмет; Универзитет у Крагујевцу – органи- зација предмета и предмет; Државни универзитет у Новом Пазару – материјал и организација предмета; Универзитет у Приштини – организација предмета) може указати на нижи степен релевантности ових аспеката за студенте. Слика 2. илуструје исти шаблон рецензирања професора са Универзитета у Београду и Универзитета у Новом Саду: након теме професор следи однос професора према студентима, предавања, материјали, садржина предмета, па организација предмета.

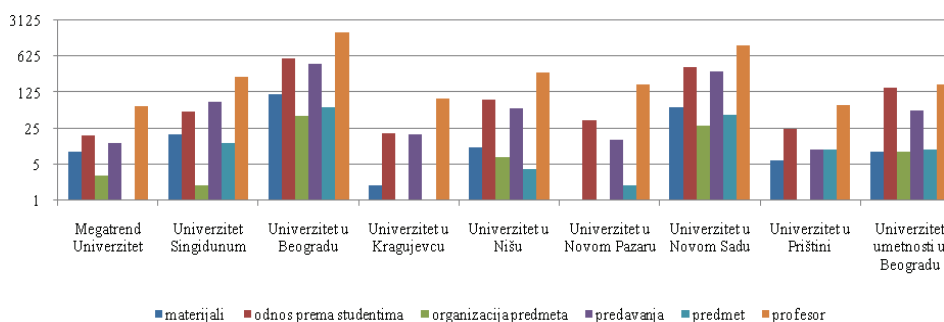
Како би се стекла свеукупна слика задовољства студе- ната, анализирале су теме о којима студенти пишу с

аспекта исказаног задовољства или незадовољства, слика 3. (вредност 1 означава позитиван став, а вредност 2 негативан став) и слика 4. На слици 3. су илустровани аспекти/теме према претежно исказаном ставу. Наиме, иако су студенти већине универзитета

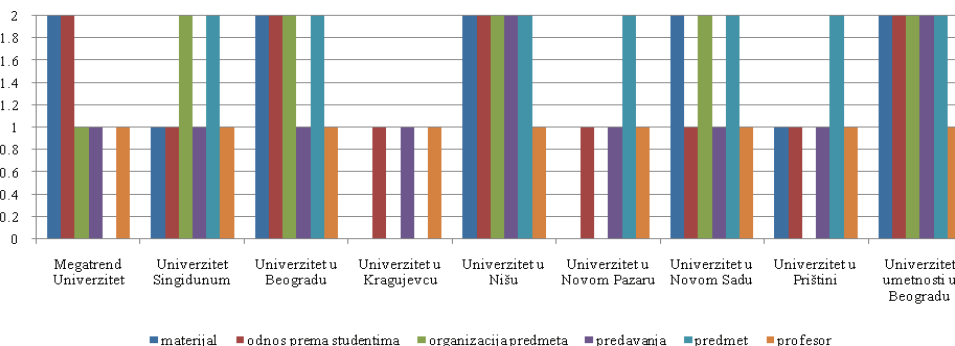
сваку тему описивали и у негативном и у позитивном контексту, слика илуструје онај контекст који је преовладао у њиховим рецензијама. Студенти свих универзитета претежно коментаришу карактеристике професора у позитивном светлу.



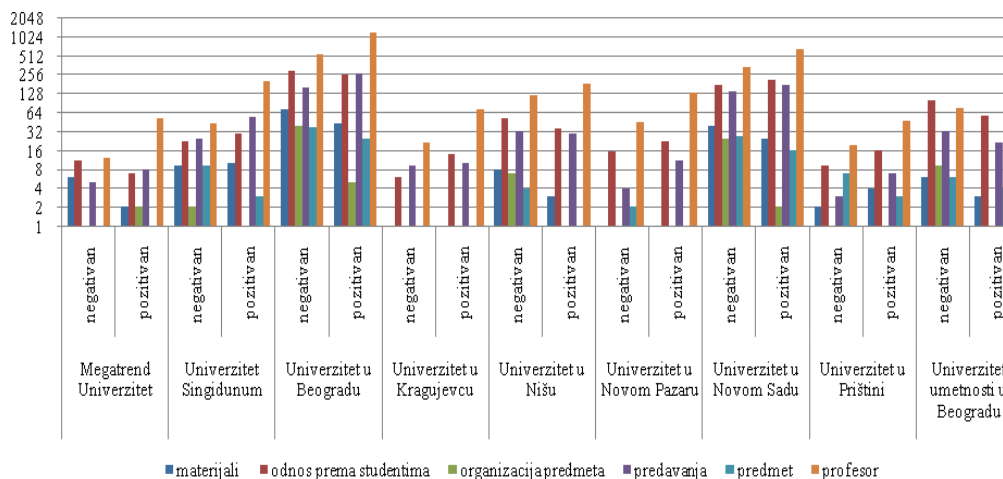
Слика 1: Преглед рецензија према универзитетима и исказаном (не)задовољству



Слика 2: Преглед предмета рецензирања по универзитетима



Слика 3: Преглед универзитета према исказаном (не)задовољству по аспектима



Слика 4: Паралелни приказ позитивних и негативних рецензија по аспектима и универзитетима

Уколико се посматрају приватни универзитети може се запазити да постоје разлике у незадовољству студената Универзитета Сингидунум и студената Мегатренд универзитета: студенти Мегатренд универзитета оштрије критикују материјале и однос према студентима, док студенти Универзитета Сингидунум оштрије критикују организацију предмета и садржину предмета.

Уколико се посматрају државни универзитети може се приметити да студенти Универзитета у Крагујевцу ређе коментаришу наставно особље и наставни процес на сајту *Оцени професора*, али када то чине у коментарима исказују претежно позитиван став. Универзитет у Нишу и Универзитет уметности у Београду су значајније критиковани, од осталих факултета: 5 од могућих 6 аспеката студенти коментаришу претежно у негативном светлу. Студенти Универзитета у Новом Пазару и Универзитета у Приштини испољавају сличан патерн рецензирања претежно критикујући садржину предмета. Студенти Универзитета у Београду и Универзитета у Новом Саду претежно критикују квалитет наставних материјала, организацију предмета и садржину предмета, док студенти Универзитета у Београду додатно критикују и однос професора према студентима.

4. ЗАКЉУЧАК

Резултати показују да се и без детаљне анализе студенских коментара на друштвеним медијима може пружити универзитетима увид у (не)задовољство студената и самим тим дати им одређене смернице за унапређење пословања - слика 3. јасно указује на уска грла по универзитетима. Посматрајући све универзитете може се закључити да студенти имају претежно позитивно мишљење о професорима, док је њихово мишљење претежно негативно о садржини предмета. Надаље, у негативним рецензијама доминирају критике наставних материјала и организације предмета, док у позитивним рецензијама доминирају похвале упућене квалитету предавања и односу према студентима.

Даља анализа студентског задовољства захтева детаљнију анализу података по појединим факултетима универзитета, која би дала информације о факултету који представља уско грло на универзитету, о факултету који доминира по незадовољству студената, као и факултету који постиже изврност. Ради стицања свеобухватне слике о (не)задовољству студената, у наставку истраживања ће се извршити анализа асоцијативних правила унутар негативних и позитивних рецензија студената, као и анализа сентимента.

LITERATURA

[1] Thackeray, R., Neiger, B. L., Hanson, C. L., & McKenzie, J. F., "Enhancing Promotional Strategies Within Social Marketing Programs: Use of Web 2.0 Social Media", *Health Promot. Pract.*, 9 (4), (2008) 338-343.

[2] Yang, C.-S., Chen, C.-H., & Chang, P.-C., "Harnessing consumer reviews for marketing intelligence: a domain-adapted sentiment classification approach", *Information Systems and e-Business Management*, 13 (3), (2015) 403-419.

[3] Dijkmans, C., Kerkhof, P., & Beukeboom, C. J., "A stage to engage: Social media use and corporate reputation", *Tourism Management*, 47, (2015) 58-67.

[4] Pang, B., & Lee, L., "Opinion Mining and Sentiment Analysis", *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 2 (1-2), (2008) 1-135.

[5] Tripp, T. M., & Grégoire, Y., "When Unhappy Customers Strike Back on the Internet", *MIT Sloan Management Review*, 52 (3), (2011) 37-44.

[6] Broß, J., "Aspect-Oriented Sentiment Analysis of Customer Reviews Using Distant Supervision Techniques", (2013) Berlin.

[7] D'Avanzo, E., & Pilato, G., "Mining social network users opinions' to aid buyers' shopping decisions", *Computers in Human Behavior*, 51, (2015) 1284-1294.

[8] Ganu, G., Elhadad, N., & Marian, A., "Beyond the stars: Improving rating predictions using Review Text Content", *Twelfth International Workshop on the Web and Databases (WebDB 2009)*, 9, (2009) 1-6. Providence, Rhode Island, USA.

[9] Hu, M., & Liu, B., "Mining and summarizing customer reviews", *Proceedings of the tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD '04* (2004) 168-177, New York, NY, USA: ACM.

[10] Kessler, J. S., Eckert, M., Clark, L., & Nicolov, N., "The 2010 ICWSM JOPA sentiment corpus for the automotive domain", *Proceedings of the 4th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media Data Workshop Challenge (ICWSM-DWC 2010)*, (2010).

[11] Kim, J., Choi, D., Hwang, M., & Kim, P., "Analysis on Smartphone Related Twitter Reviews by Using Opinion Mining Techniques", *Advanced Approaches to Intelligent Information and Database Systems, Studies in Computational Intelligence*, 551, (2014) 205-212.

[12] Liu, B., Hu, M., & Cheng, J., "Opinion Observer: Analyzing and Comparing Opinions on the Web", *WWW '05 Proceedings of the 14th international conference on World Wide Web*, (2005) 342-351.

[13] Toprak, C., Jakob, N., & Gurevych, I., "Sentence and expression level annotation of opinions in user-generated discourse", *Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL '10* (2010) 575-584, Stroudsburg, PA, USA, 2010: Association for Computational Linguistics.

[14] Grljević O., Bošnjak Z., "Development of Serbian Higher Education Corpus", *16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2015*, Budimpešta, Mađarska, ISBN 978-1-4673-8520-6, (2015) 177-181.

ПРИМЕНА ОИ У ОДБРАНИ



DEA APPLICATIONS IN THE DEFENSE SECTOR

LIDIJA GEORGIEVA

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Philosophy - Skopje, Skopje, georgieva@fzf.ukim.edu.mk

TONI NAUMOVSKI

MoD/Army of the Republic of Macedonia, Skopje, toninaumovski@yahoo.com

VIOLETA CVETKOSKA

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics - Skopje, Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mk

Abstract: *Data Envelopment Analysis (DEA) is a non-parametric methodology that can be used to measure the relative efficiency of homogenous entities (Decision Making Units (DMUs)) that use the same inputs to produce the same outputs. Since its introduction in 1978, there has been a notable growth in the published papers where DEA is applied in various areas, such as: education, banking, finance, energetics, agriculture, health care, sport, the defense sector, etc. The aim of this paper is to present the application of DEA in the defense sector. 15 studies published in the period between 1983 and 2014 are analyzed. The emphasis in the analyzed studies is on the observed period, the sample, the used variables, the models, and the obtained results.*

Keywords: *Non-parametric methodology, Data Envelopment Analysis, Defense Sector.*

1. INTRODUCTION

In order to measure the efficiency of entities, there can be found two approaches in the literature: the parametric or econometric approach, and the non-parametric or the mathematical programming approach. In the framework of this paper the emphasis is on the non-parametric approach, i.e. on Data Envelopment Analysis (DEA). This non-parametric methodology was introduced in the literature of the discipline Operational Research (OR) in 1978 by Charnes, Cooper & Rhodes [1].

DEA enables measuring of the relative efficiency of entities that use the same inputs to produce the same outputs (in DEA terminology these entities are known as Decision Making Units (DMUs)), and on the basis of the data for the used variables, i.e., inputs and outputs, an efficiency frontier is constructed.

Emrouznejad, Parker & Tavares [2] made a bibliography of DEA in which there are included more than 4.000 articles from its introduction to 2007. The focus of this paper is the application of DEA in the defense sector.

The defense sector performance is a complex phenomenon, which requires fundamental improvement of the effectiveness and efficiency of the defense capabilities that are closely related to available national resources and expressed through military power, the military structure, the level of equipment, and also through readiness and sustainability of the military forces.

This paper is organized in the following way: the Introduction, presented in Section 1; the non-parametric approach DEA is explained in Section 2; the application

of DEA in the defense sector is presented in Section 3, and the Conclusion is given in Section 4.

2. DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

DEA is a specifically designed technique that measures the relative efficiency of DMUs by constructing an efficiency frontier. According to Charnes, Cooper, Lewin & Seiford [3, pp.5-6] the efficient DMU lies at the extreme frontier and the DMU that is relatively inefficient lies below this frontier. This non-parametric methodology allows to determine the sources and amounts of inefficiency, which is particularly valuable information for the inefficient DMUs in order to improve their efficiency. The advantage of this methodology is that it does not require any assumption about the functional form.

One of the basic DEA models is the CCR model that was introduced in 1978 by Charnes, Cooper and Rhodes [1], and Banker, Charnes and Cooper [4] in 1984 introduced the BCC model. Cooper, Seiford & Tone [5, p.152] indicate that the result that is obtained by solving the CCR model is known as (global) technical efficiency (TE), whereas the result that is obtained by solving the BCC model is known as (local) pure technical efficiency (PTE), and if the decision making unit has a CCR and BCC result that is 100%, then its scale efficiency is highest, but if the unit is 100% BCC-efficient, and the CCR result is low then this unit is operating locally efficient, but not globally, due to the size of the scale of the unit. Scale efficiency (SE) is the ratio between the two results: CCR and BCC result, for more details see [5, pp.152-154], and by decomposing the technical efficiency of its constituent parts, $TE = PTE \times SE$, the sources of

inefficiency can be presented, i.e. inefficient operating is presented by PTE, and unfavorable conditions through SE. Inefficiencies can occur because of inefficient operation, due to the unfavorable conditions or because of the two stated reasons.

The basic DEA models (CCR and BCC model) allow to calculate the maximum efficiency of the DMU relative to other DMUs that comprise the sample. Those DMUs that are inefficient can be ranked based on their levels of efficiency, which is not the case for efficient DMUs, whose result of efficiency is 1 (100%). For more details when a DMU is CCR, or BCC efficient, see [5, p.45, p.92]. One of the disadvantages of these basic DEA models is that with them can not be performed the ranking of the identified efficient DMUs, so Andersen & Petersen [6] have proposed a modified DEA model for ranking efficient DMUs, i.e.- for measuring super-efficiency.

If the sample of analysis is comprised by a small number of DMUs, and there are selected multiple inputs and outputs, then the efficiency frontier will be created with more DMUs. To overcome this problem a DEA technique known as Window Analysis can be used, through which the number of decision making units can be increased and also in the efficiency analysis there can be included a time dimension.

To solve DEA models, there have been developed more programming tools that enable in a short time to be obtained results, and decision-makers can devote more of their time to analyzing the results in order to make a good decision.

DEA notes applications in banking, finance, health care, education, energetics, agriculture, sport, the defense sector, etc., and below is shown its application in the defense sector.

3. APPLICATION OF DEA IN THE DEFENSE SECTOR

Various studies have been made to adopt the DEA methodology to evaluate the operating performance of the defense sector.

In 1983, Charnes, Clark, Cooper & Golany [7] introduced an illustrative example related to measuring the efficiency of the maintenance units in the U.S. Air Force. They used the input-oriented CCR model to analyze the relative efficiency of 14 Air Force wings, during the period October 1981 - May 1982. By using DEA they indicated the differences with other approaches to this issue. They also applied the DEA technique Window Analysis in order to bring greater 'degrees of freedom' to the analysis.

Bowlin [8] evaluated maintenance activities in the U.S. Air Force during the period October 1982 - March 1984. The study involves the application of DEA to locate possible inefficiencies in the performance of US Air Force real-property maintenance activities.

Roll, Golany & Seroussy [9] have analyzed 5 maintenance units of the Israeli Air Force. The data is

analyzed on a quarterly basis and they used the input-oriented CCR model. The reason of using DEA to analyze the efficiency of the Israeli Army's maintenance units is due to the difficulties proved by standard techniques. Actually the performance of the maintenance units is characterized by a large number of inputs and outputs which cannot be readily weighed and compared. Some of these factors are qualitative in nature.

Charnes [10] evaluated the impact and effectiveness of advertising resources on the recruitment of high quality prospective soldiers for the U.S. Army. By using the newly developed models and software system, Charnes undertook a detailed analysis of quarter 1 of FY 1990.

Other study related to the maintenance of the Armed Forces is Clarke's study [11]. He applied DEA to evaluate vehicle maintenance performance at 17 air bases of the U.S. Army over the period of 4 years.

Sun [12] analyzed the performance of maintenance shops in the Taiwanese Army. He observed 5 maintenance shops over two 6-month periods in 2000 (January-June and July-December). Each analysis examined 30 DMUs. For this study there have been selected five output measures and six input measures. For instance, the input variable is the total number of assigned vehicles to a maintenance shop in a specific month, and the output variable is the total number of assigned vehicles that are in serviceable condition each month. In this study the 'DEA NCN (non-controllable)-AR' model is used.

Nakabayashi & Tone [13, pp.57-70] by using DEA evaluated a nation's dependence on military forces, and verified the end of the Cold War. Through the establishment of the new 'relative military Index-RMI', they described the period after the Cold War. They used two variants of DEA models, one being the Slacks-based Measure of Super-Efficiency (Super-SBM) model of Tone and the other being the Slacks-based Malmquist model of Tone. In their study both models are input-oriented and they are based on a 'CRS-constant returns to scale' assumption, since a nation's resources (outputs) are not easily adjustable compared with the military forces, and some of the countries are found to have very high values in some of the output parameters. The new index, the RMI, represents the relative efficiency of a nation's military force, which are analyzed. The high/low index score indicates that the nation's 'dependence on military forces (DMF)' is low/high. Otherwise, RMI is presented as a ratio between the nation's resources (as outputs) and the nation's military forces (as inputs), by treating each nation as a distinct decision making unit. The nation's resources are Gross Domestic Product (GDP) territorial area and population. There is no correlation between national defense expenditure and GDP, territorial area, and population, respectively. The study includes 18 countries from all regions of the world except Latin America, Africa and Oceania, in a period of over 14 years (1984-1997). The authors have focused on the United States, Russia and Japan after the Cold War.

Forika [14] introduced efficiency measurement possibilities for military higher education with the

application of DEA. The aim of her study is to obtain information that is needed to encourage the students or the teaching staff to increase the efficiency of the learning/teaching process.

Lu [15], according to the fact that assessing the military organization's performance is an important yet complex issue, has analyzed the supply of supplementary foods and products of the 31 military outlets in the Taiwanese Army.

Wen-Min & Mei-Hui [16] explored the operating efficiency and the benchmark-learning roadmap of Taiwanese military financial units. The intent is to help military financial units to deliver more efficient services, including improvement of the Armed Forces' financial management.

Previous studies of efficiency and productivity by DEA in the armed forces have solely been concentrated around various support functions like maintenance and recruitment [17, p.2]. One reason for the lack of studies could be difficulties in modeling the production process and output of the armed forces. Hanson [17] set up a general model for the production process of an operational unit, which are a pillar of the defense sector. According to Hanson [17, p.7] the main issue when applying the model to the military is the distinction between and categorization of: (1) Outcomes; (2) Outputs; and (3) Activities in the transformation process. The model is specified for the units of one branch of the Norwegian armed forces, the Home Guard, whose objectives are several tasks that include helping to maintain sovereignty, national crises management, the reception of allied reinforcement and contributing to the safety and security of society. In the model, Hanson [17, pp.13-26] defines three input variables for the use of equipment and personnel: (1) fixed personnel costs, such as regular wages, (2) variable personnel costs, such as activity based payments, overtime pay and travel expenses, (3) material costs, such as ammunition, spare parts and maintenance. The sample consists of yearly observations from eleven Home Guard districts over three years. This gives 11 observations each year or 33 observations. The data is collected monthly and yearly. In this model a single output is defined. It has the following decomposition: high intensity troops (I-FO), reinforcement troops (RF-FO), and the district staff (DS). The DEA model is input-oriented and the productivity development over the three years is investigated by the Malmquist productivity index.

In the study which addresses the problem of NATO enlargement, Hatami-Marbini, Tavana, Saati & Agrell [18, pp.19-21] use the 'fuzzy DEA BCC' model. The NATO enlargement problem is a complex multicriteria problem that embraces qualitative and quantitative data. Potential applicant countries must conform to a large number of quantitative and qualitative entry criteria established by NATO. They emphasized that, in political discussions, the enlargement process has sometimes been depicted as favoring socially and economically stable

countries, with the only political uncertainty related to the issue of intra-member conflicts (e.g., Cyprus). The authors by using a plausible set of socioeconomic indicators and a fuzzy variable for the political consensus, calculated a fuzzy DEA VRS frontier. They stated that the analysis of the obtained results confirms the hypothesis that decisions are not based on socioeconomic stability.

Wang & Wang [19] made the quantitative effect evaluation of engineerization management and established the DEA model of single aircraft shelter engineering. They analyzed the calculation results in detail and point out the importance of the one input element - personnel, which influences targets of cost and progress, related to the fact that the reduce of inputs brings increase of outputs.

Choon-Joo, Won-Joon & Bong-Kyoo [20] analyzed offset trends of the 14 offset countries in the period between 1993 and 2007. With the use of DEA, they measured the technical and value efficiencies of offsets and explained the efficiency gaps among nations to derive policy implication.

Zhou & Liu [21] by using the Malmquist Productivity Index integrated with bootstrapping, reviewed the defense spending impact on economic productivity. The study includes APEC countries in the period between 1990 and 2010.

4. CONCLUSION

The aim of this paper was to present the applicability of the non-parametric methodology DEA in the defense sector.

There have been analyzed 15 studies published in the period between 1983 and 2014. In three studies the Malmquist productivity index is used, in one study the DEA technique Window Analysis is used, and according to the orientation of the model, in most of the studies the DEA model that is input-oriented is used.

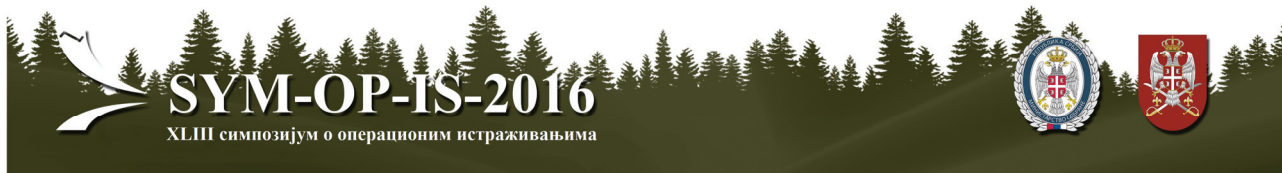
The analyzed DEA studies reflect the possibility of a wide application of DEA in measuring the performance of the defense sector.

Assessing the defense sector performance is an important national issue. This issue has a great impact on the NATO members' and partner countries' performance as well. Therefore, the application of the DEA for measuring the burden sharing in NATO-led operations and missions is our next challenge for further research.

REFERENCES

- [1] Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E.L., "Measuring Efficiency of Decision-Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. doi:10.1016/0377-2217(78)90138-8, 1978.
- [2] Emrouznejad, A., Parker, B.R., & Tavares, G., "Evaluation of Research in Efficiency and Product-

- ivity: A Survey and Analysis of the First 30 Years of Scholarly Literature in DEA”, *Socio-Economics Planning Science*, 42(3), 151-157. doi:10.1016/j.seps.2007.07.002, 2008.
- [3] Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., & Seiford, L. M. (eds.), “Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications”, (Boston: Kluwer Academic Publishers), 1994.
- [4] Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper, W.W., “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, 30(9), 1078-1092. doi:10.1287/mnsc.30.9.1078, 1984.
- [5] Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Tone, K., “*Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*”, (2 ed.), (New York: Springer Science + Business Media, LLC), 2007.
- [6] Andersen, P., & Petersen, N.C., “A Procedure for Ranking Efficient Unit in Data Envelopment Analysis”. *Management Science*, 39, 1261-1264, -1993.
- [7] Charnes, A. Clark, C.T. Cooper, W.W. & Golany, B., “A Development Study of Data Envelopment - Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Force”, *Center for Cybernetic Studies*, Research Report CCS 460, Austin: The University of Texas, 1983. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a141392.pdf>
- [8] Bowlin, W.F., “Evaluating the Efficiency of US Air Force Real-Property Maintenance Activities”, *Journal Of The Operational Research Society*, (GB) 38 (2), 1987. <http://www.palgrave-journals.com/jors/journal/v38/n2/abs/jors198725a.html>
- [9] Roll, Y. Golany, B. & Seroussy, D., “Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the Israeli Air Force”, *European Journal of Operational Research*, 43, 1989. http://www.ie.technion.ac.il/Home/Users/golany/EJOR_89.pdf
- [10] Charnes, A., “Measuring the Impact of Advertising on Army Recruiting: Data Envelopment Analysis and Advertising Effectiveness”, *CCS Research Report No. 656*, 1990. <http://dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a236779.pdf>.
- [11] Clarke, R.L., “Evaluating USAF Vehicle Maintenance Productivity Over Time: An Application of Data Envelopment Analysis”, *Decision Science*, Volume 23, Issue (2), 1992.
- [12] Sun, S., “Assessing Joint Maintenance Shops in the Taiwanese Army using Data Envelopment Analysis”, *Journal of Operations Management*, 22 2004. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696304000099>
- [13] Nakabayashi, K. & Tone, K., “A Verification of the end of Cold War using DEA”, *Journal of the Operations Research*, 2005, Vol. 48, No. 1, 2005. http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e_mag/Vol.48_1_057.pdf
- [14] Főrika, T.K., “Efficiency Research of the Hungarian Military Higher Education Process”, LUDITA: Az Nemzeti Közzolgálati Egyetem repozitórium-rendszere, 2008.
- [15] Lu, W., “Benchmarking Management in Military Organizations: A Non-Parametric Frontier Approach”, *African Journal of Business Management*, Vol. 5 (3), 4 February, 2011. http://www.researchgate.net/publication/228657368_Benchmarking_management_in_military_organizations_A_non-parametric_frontier_approach
- [16] Wen-Min, L. & Mei-Hui C., “A Benchmark-Learning Roadmap for the Military Finance Center”, *Mathematical and Computer Modeling*, Volume 53, Issues 9-10, May, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717711000069>
- [17] Hanson, T., “Efficiency and Productivity in the Operational Units of the Armed Forces”, *Memorandum*, No7/2012, Oslo: Department of Economics, University of Oslo, 2012. <http://www.sv.uio.no/econ/english/research/unpublished-works/working-papers/pdf-files/2012/Memo-07-2012.pdf>
- [18] Hatami-Marbini, A. Tavana, M. Saati, S. & Agrell, J.P., “Positive and Normative Use of Fuzzy DEA-BCC Models: A Critical View on NATO Enlargement”, *International Transactions in Operational Research*, 00, 2012. http://www.researchgate.net/publication/256980565_Positive_and_Normative_Use_of_Fuzzy_DEA-BCC_Models_A_Critical_View_on_NATO_Enlargement
- [19] Wang, S. & Wang, Q., “Effect Evaluation of Construction Engineerization Management for Military Projects”, *Systems Engineering Procedia*, 3,2012. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211381911001949>
- [20] Choon-Joo, L. Won-Joon, J. & Bong-Kyoo, Y., “Technology Acquisition Policy and Value Efficiency Analysis on Offsets in Defense Trade”, *The Disam Journal of International Security Cooperation Management*, 2012. <http://www.disamjournal.org/articles/technology-acquisition-policy-and-value-efficiency-analysis-on-offsets-in-defense-trade-319>
- [21] Zhou, D. & Liu, S., “The Impact of Defense Expenditure on Economic Productivity in APEC Countries”, *Review of the Air Force Academy*, No 1 (25), 2014. http://www.afahc.ro/ro/revista/Nr_1_2014/109_Zhou%20Dongming,%20Liu%20Siqi.pdf



MEASURING THE EFFICIENCY OF PARTICIPATING COUNTRIES IN NATO-LED MISSION IN AFGHANISTAN, ISAF: NON-PARAMETRIC APPROACH

LIDIJA GEORGIEVA

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Philosophy - Skopje, Skopje, georgieva@fzf.ukim.edu.mk

TONI NAUMOVSKI

MoD/Army of the Republic of Macedonia, Skopje, toninaumovski@yahoo.com

VIOLETA CVETKOSKA

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics - Skopje, Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mk

Abstract: The aim of this paper is to measure the relative efficiency of the participating countries in the ISAF mission in a period of three years (2007-2009) by using the non-parametric approach Data Envelopment Analysis (DEA). A key role in DEA analysis is the selection of inputs and outputs, and in our empirical research two inputs are selected: the total population of each participating country and the GDP per capita of the participating countries, and as output the number of soldiers (troops) of each participating country per rotation is selected. The sample consists of 36 participating countries, i.e., Decision Making Units (DMUs). According to the obtained results it is found that 5 countries (Albania, Estonia, Macedonia, United Kingdom, and the United States) are relative efficient in the whole observed period, while Austria is identified as the least efficient country. In addition, it is shown how relative inefficient countries may improve their efficiency and become relative efficient.

Keywords: *Relative Efficiency, DEA, ISAF Mission, Macedonia, Slovenia.*

1. INTRODUCTION

In this paper we measure the relative efficiency of participating countries in a NATO-led mission in Afghanistan, ISAF in a period of three years (2007-2009) by using the non-parametric approach Data Envelopment Analysis (DEA).

DEA was introduced in the literature of the discipline operational research (OR) by Charnes, Cooper & Rhodes in 1978 [1]. It is a non-parametric methodology for measuring the efficiency of homogenous entities (they use the same inputs and produce the same outputs) which in DEA terminology are known as Decision Making Units (DMUs). In order to construct the efficiency frontier, the empirical data are taken for the used inputs and produced outputs. Those DMUs that form the efficiency frontier are relative efficient while the other are relative inefficient, and to improve their efficiency and become relative efficient this non-parametric methodology allows for the sources of inefficiency and the level of inefficiency for each input, i.e. output to be identified [2, p.105].

Data Envelopment Analysis is used for measuring the relative efficiency in banking, education, health care, agriculture, energetics, sport, the defence sector, etc., and in this paper its application in the defence sector is presented. In the literature there are found articles with DEA application in the defence sector but none of them

investigates the relative efficiency of participating countries in ISAF.

2. METHODOLOGY

One of the basic DEA models is the Banker-Charnes-Cooper (BCC) model [3] that is built on the assumption of variable returns to scale (VRS) of activities. VRS exist when the proportional increase in inputs does not lead to a proportional increase in outputs [4, p. 40]. Regarding the orientation, DEA models can be oriented on input reduction (known as input-oriented model) or on output augmentation (known as output-oriented model). In our research we have used the output-oriented BCC DEA model. The envelopment form of the output-oriented BCC DEA model is given in (1)-(5), [5, p. 93; 6, p.79]:

$$(BCC - O_o) \quad \max_{\eta_B, \lambda} \eta_B \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad X \lambda \leq x_o \quad (2)$$

$$\eta_B y_o - Y \lambda \leq 0 \quad (3)$$

$$e \lambda = 1 \quad (4)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (5)$$

where η_B is a scalar. The input data for DMU_j ($j=1, \dots, n$) are $(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$, and the output data are $(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})$; the data set is given by two matrices X and Y , where X is the input data matrix, and Y is

the output data matrix, λ is a column vector and all its elements are non-negative, while e is a row vector and all its elements are equal to 1 [5, p. 22, pp. 91-92]. More details about the BCC DEA model can be found in [3, 5, p. 90-94].

3. DATA SELECTION AND DESCRIPTION

The choice of inputs and outputs is a crucial part in DEA analysis. As variables in our empirical research there are selected two inputs and one output.

Inputs are:

1. Total population of each participating country, and,
2. GDP per capita of the participating countries (in US dollars).

While as output the following is selected:

1. A number of soldiers (troops) of each participating country per rotation.

The sample consists of 36 DMUs - participating countries. Those countries that do not participate in the mission in each observed year are excluded (Bosnia and Herzegovina, Georgia, Jordan, Singapore, Switzerland, and Ukraine).

The total number of soldiers per rotation in ISAF increases from 2007 to 2009, as a result of the increased need for peacekeepers in the ISAF mission. In 2007 the total number of soldiers per rotation was 41.649 (the actual number is 41.741, Jordan and Switzerland are excluded). In 2008 the total number of soldiers was 51.350 (the actual number is 51.361, Georgia and Ukraine are excluded), and in 2009 the total number was 83.913 (the actual number is 84.146, Bosnia and Herzegovina, Georgia, Singapore and Ukraine are excluded). The term rotation refers to the period of time during the year, usually 6 months.

The data of population and GDP for each participating country are derived from the Web site of the World Bank [7; 8], while the data for the number of troops of the ISAF participating countries is obtained from the database of the Stockholm International Peace Research Institute, SIPRI [9].

4. RESULTS AND DISCUSSION

In order to solve the DEA model, 'DEA - Solver, Learning version 3.0.' software is used.

The analysis reflects the contribution of the participating countries to ISAF. It includes NATO member countries and partner countries which participated in ISAF. Table 1 presents the efficiency scores of certain countries for the analyzed period (2007-2009).

Based on the obtained results for 2007, only 6 participating countries in ISAF were identified as relative efficient, thus their contribution to ISAF is the largest.

Table 1: Efficiency scores for certain participating countries in ISAF

	2007		2008		2009	
	DMU	Efficiency score	DMU	Efficiency score	DMU	Efficiency score
1	Albania	1	Albania	1	Albania	1
2	Estonia	1	Estonia	1	Estonia	1
3	Macedonia	1	Macedonia	1	Macedonia	1
4	United Kingdom	1	United Kingdom	1	United Kingdom	1
5	United States	1	United States	1	United States	1
6	Iceland	1	Iceland	1	Iceland	0.9998
7	Luxemburg	0.2868	Luxemburg	0.2782	Luxemburg	1
8	Denmark	0.9501	Denmark	0.9410	Denmark	0.9230
9	Norway	0.8942	Norway	0.7100	Norway	0.7237
10	Netherlands	0.7391	Netherlands	0.7692	Netherlands	0.7846
11	Slovenia	0.3095	Slovenia	0.3002	Slovenia	0.2660
12	Austria	0.0029	Austria	0.0008	Austria	0.0024

They are: Albania, Estonia, Macedonia, United Kingdom, the United States, and Iceland. All listed relative efficient countries are NATO member countries, except Macedonia. The efficiency score of Denmark is 0.9501, Norway has an efficiency score of 0.8942, etc., and the least efficient is Austria, with an efficiency score of 0.0029. In 2008, the same countries were relative efficient. The efficiency score of Denmark is 0.9410, the efficiency score of Norway is 0.7100, etc., and the least efficient is Austria, with an efficiency score of 0.0008. In 2009, relative efficient were the following six countries: Albania, Estonia, Luxembourg, Macedonia, United Kingdom, and the United States. The efficiency score of Denmark is 0.9230, the efficiency score for Norway is 0.7237, and Austria is identified as the least efficient (the efficiency score is 0.0024). Regarding Macedonia, the often stated conclusion from the political and academic community is confirmed, that despite the fact that it is a small country with limited resources, Macedonia was one of the major contributors to the ISAF mission. The results also show that, in terms of all of the NATO partner countries, Macedonia is the largest contributor to the ISAF mission. This raises the question 'Why at the Chicago summit in 2012 on the list of specially invited 13 NATO partner countries Macedonia is not included?'. The list of 13 countries includes: Australia, Austria, Finland, Georgia, Japan, Jordan, the Republic of Korea, Morocco, New Zealand, Qatar, Sweden, Switzerland and the United Arab Emirates. For these countries it is thought that they have made certain political, operational and financial contributions to NATO-led operations and missions. Some of them are included in the analysis.

According to the results of the analysis in the observed period (2007-2009), it can be concluded that certain partner countries have expressed a greater willingness and

capability in terms of their contribution to NATO-operations and missions. Actually, due to the fact that the NATO-partner countries, such as Australia, Austria, Finland, New Zealand, and Sweden have far greater human and economic resources than Macedonia, their contribution to NATO missions should be more significant. Concurrently, compared with the NATO member countries, Macedonia's contribution is significantly larger than those NATO member countries that have a far larger population and more economic opportunities (France, Germany, Netherlands, etc.). Additionally, compared to other countries in the region, Albania and Macedonia are major contributors to the ISAF, as opposed to Bulgaria, Greece, and Romania. But what does Macedonia "get" from that contribution? With no invitation for NATO membership in 2008, the question is: "Should Macedonia continue to contribute with significant numbers of troops to NATO missions? [10, p.7]. Slaveski [10, p.7] has proposed to examine the funds allocated for this purpose and they can be reallocated to improve the standard of the employees of the Army and to equip the Army. On the other hand, according to Slaveski, it is necessary to consider the possibilities for greater participation of Macedonia to UN missions, where there is a financial compensation for participation. However, withdrawal of established relations and undertaken obligations, related to participation in NATO-led operations and missions would mean lack of seriousness. The participation should be according to the possibilities, estimated risks and stated Macedonia's national interests, which should not be calculated through cost. The increase of the defense budget and achievement the NATO criteria for defence spending of about 2% of the GDP will greatly contribute to equipping and modernization of the Army.

Regarding the NATO member countries, those relatively efficient are: Albania, Estonia, Iceland (2007 and 2008), United Kingdom, Luxembourg (2009) and the United States. As always, the leading of the NATO operations and missions has the United States accompanied by the United Kingdom. Again, the necessity of the balanced burden sharing between NATO member countries comes to the foreground. Burden sharing has always been important in NATO operations and missions, and raises the question: "What will happen when the United States will no longer take the lead in international operations?" [11].

The efficiency score of the Republic of Slovenia is 0.3095, 0.3002 and 0.2660 in 2007, 2008 and 2009 respectively. But if we analyze the relative efficiency of Estonia which, just as Slovenia, has been a NATO member country since 2004, it could be noticed that the contribution of Estonia is far more significant. Estonia belongs to the group of countries that are relatively efficient. This is also determined in the study of Hribernik [12 p. 381] who analyzes the contribution of Estonia and Slovenia to ISAF. Hribernik emphasizes that both states have expanded their military commitments abroad, however the ratio between the two remained fairly similar, with Estonia contributing a significantly larger force both in absolute and relative terms. He points out

the fact that the country with the most soldiers in ISAF relative to its population size was Estonia. In 2011 this ratio was 1 soldier for every 8.222 inhabitants of Estonia and 1 soldier for every 23.333 inhabitants of Slovenia. Hribernik in his analysis of ISAF contribution prefigures that in 2009 Slovenia was the last on a list alongside seven comparable countries (Croatia, the Czech Republic, Estonia, Hungary, Latvia, Lithuania, and Slovakia). In the DEA analysis Hungary and the Czech Republic are less efficient than Slovenia (the score of efficiency is: 0.1775 for Hungary and 0.2384 for the Czech Republic)

On the other hand, the participation of the Republic of Slovenia in the NATO-led operation in Kosovo is far different. The reason for that should be sought in the fact that a stable and safe neighborhood provides security and prosperity at home. Probably the decision on the extent and level of Slovenia's participation to ISAF is influenced by the fact that Afghanistan is a quite distant region and the presence in the Western Balkans is in the focus of Slovenia's participation in international operations missions. The special interest on the stability and security of the region of South East Europe contributes to the increasing presence of the Slovenian Armed Forces in NATO operations on the Balkans (SFOR in Bosnia and Herzegovina and KFOR in Kosovo). This is also supported by the public opinion on Slovenia's involvement abroad with a more prevalent commitment to the regional focus of Slovenia's participation in NATO-led operations and missions.

With the emergence of the economic crisis in 2008, the GDP of the participating countries in 2009 declined, and this reflected on their relatively efficient. On the other hand, the need for peacekeepers increases, and it requires participating countries to not only reduce the number of troops but also further increase, in order to be relatively efficient. Such is the case with Luxembourg, which becomes relative efficient because with a reduction of GDP Luxembourg does not reduce the number of troops in ISAF. Some of the participating countries do not become more efficient despite the reduction in GDP. Besides the fact that they have increased the number of troops, that number, in terms of the increasing need of peacekeepers, does not increase their relative efficiency. Such is the case with Slovenia. In order for Slovenia to be relative efficient in the ISAF, in the years that are the subject of analysis, it is required to increase the number of troops that are participating in the mission. Table 2 shows a projection of how Slovenia may improve its efficiency and become relative efficient in the second year of the observed period, i.e., in 2008. For inputs (total population and GDP per capita) there is no change and they remain the same, while the output (number of troops) is required to be increased from 70 to 233.

Table 2: Projection for Slovenia to become relative efficient in the NATO mission, ISAF

Slovenia	2008	
Input 1	2021316→2021316	no change
Input 2	27501.8→27501,8	no change
Output 1	70→233	233,09% increasing

Based on the analysis it can be concluded that the differences between desires and expectations, expressed in the political commitment of the NATO member countries and its partners for participation in international operations and missions, on the one hand, and the real possibilities on the other, are always present. That requires the necessity to make a real burden sharing in the participation, and the contribution should be in line with the available resources and capabilities of the countries that expressed readiness to take part in NATO-led operations and missions. Activities related to participation in NATO-led operations and missions are constantly monitored by the public and cause certain critical considerations. In addition, the countries should also work on raising awareness on public support for participation in international operations and missions because participation has actually increased their security.

5. CONCLUSION

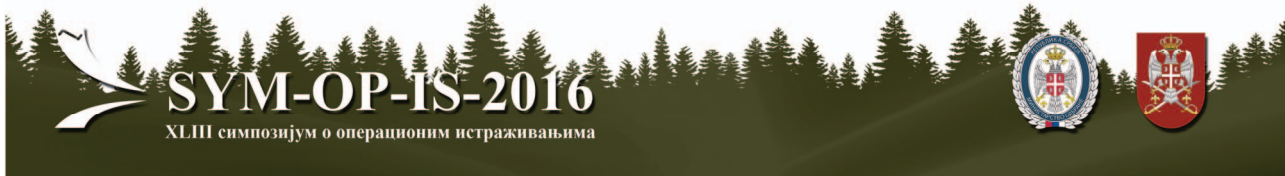
The aim of this paper was to present the applicability of the non-parametric methodology DEA in measuring the burden sharing in NATO-led mission in Afghanistan, ISAF. There have been analyzed 36 participating countries in the period between 2007 and 2009, by using the output-oriented BCC DEA model. Based on the obtained results, only 5 countries are relative efficient in the whole observed period. All of them are NATO member countries except Macedonia. In terms of all of the NATO partner countries, Macedonia is the largest contributor to the ISAF mission. In the case of Slovenia, as a NATO member country, it is required to increase the number of troops that are participating in the mission, in order to improve its efficiency and become relative efficient.

As usual, the necessity of the balanced burden sharing in NATO-led operations and missions comes to the foreground. Therefore, the application of the DEA, in the paper, shows that it is a powerful methodology that provides real results of burden sharing in NATO-led operations and missions.

Our further research will be the application of the DEA for measuring the efficiency of the participating South East European countries in ISAF in the period between 2007 and 2014.

REFERENCES

- [1] Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E.L., "Measuring Efficiency of Decision-Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. doi:10.1016/0377-2217(78)90138-8, 1978
- [2] Cvetkoska, V., "Evaluating the Relative Efficiency of Bank Branches by Using the COOPER-Framework", *Proceedings of the XLII International Symposium on Operational Research (SYM-OP-IS 2015)*, Editors: Nenad Mladenovic, Dragan Urošević, Zorica Stanimirović, 2015, pp. 105-108.
- [3] Banker, R. D., Charnes, A. & Cooper, W. W., "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, 30(9), 1984, 1078-1092.
- [4] Thanassoulis, E., "Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software", (Boston: Kluwer Academic Publishers), 2001.
- [5] Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Tone, K., "Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software", (2 ed.), (New York: Springer Science + Business Media, LLC), 2007.
- [6] Cvetkoska, V., & Barisic, P.. "Measuring the Efficiency of Certain European Countries in Tourism: DEA Window Analysis", In *Book of Proceedings of International May Conference on Strategic Management – IMKSM2014*, 23-25 May 2014, Bor, Serbia, 2014, (pp. 77-86) http://media.sjm06.com/2014/07/Final-IMKSM14_Book-of-Proceedings.pdf
- [7] The World Bank Population. <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?age=1> (date of accession 25.02.2014)
- [8] The World Bank GDP per capita. <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?page=1>(date of accession 25.02.2014)
- [9] SIPRI Multilateral Peace Operations Database-SIPRI. <http://www.sipri.org/databases/pko>(date of accession 25.02.2014)
- [10] Slaveski, S. "Unfinished business in the Balkans: NATO's role in the stabilization of the Western Balkan" in *Shtit*, Skopje: Ministry of Defense of the Republic of Macedonia, Number.50, October 2013. (InMacedonian)<http://www.morm.gov.mk/wp-content/uploads/2011/10/50-Shtit.pdf>.
- [11] Matlary, H. J. & Petersson, M., "Introduction: Will Europe Lead in NATO", in Matlary, H. J. and Petersson, M. (eds) *NATO's European Allies: Military Capability and Political Will*, New York: PALGRAVE MACMILLAN, 2013.
- [12] Hribernik, M., "Regional or Global? The National Security Strategy and Public Opinion in Slovenia" in *Panorama of Global Security Environment*, 2011. http://www.academia.edu/1463918/Regional_or_global_The_National_Security_Strategy_and_public_opinion_in_Slovenia



RENEGING QUEUES IMPACT ON DEVELOPMENT OF LAWSON'S MODEL OF COMMAND AND CONTROL PROCESSES

NEBOJSA NIKOLIC

Strategic Research Institute of MoD, Belgrade, nebojsa2008_g@yahoo.com

Abstract: Basic model of military command and control processes consists of following successive phases: sensing, processing, comparing, deciding and acting. The first phase is related to conducting situational awareness, which means observing the environment and registering events that appears in the area. Those activities are supported by appropriate sensor equipment which help to its military entity to respond somehow to the registered threat. Sensors have its radius of detection, and they enables detection in a detection zone. However, the threats to the military entity are usually moving objects in an unpredictable manner. That means that the threat may enter the detection zone, be there some time, do something and leave it afterward. Military entity can respond to the threat after finishing whole cycle of command and control: sensing the change in environment, processing sensing data and identifying the threat, comparing options for action, deciding about use of force and acting response to the threat. It is obvious that command and control activities are relevant only for those threats that are still in the zones of detections and possible counteractions. If we perceive that the threat is a subject of respond of the military entity who wants to perform "service" to the incoming "client", than in the context of queueing terminology we have situation with renegeing queues. Clients that are "waiting" in a renegeing queues are available for service only for a limited time. If not served inside that time-window, they depart queue without being served. Different stages of the Lawson's cycle of military command and control may consume more or less time and by that influence capability of responding to the threat. This paper considers described situation and specify requirements that have to be met in modeling.

Keywords: *Reneging queues, Simulation, Command and control.*

1. INTRODUCTION

In the military context, a term: "Command and Control" (C2), assumes an information system which supports command process at all levels of military units. C2 system fulfills its own purpose through collecting, selecting, processing, communicating, distributing and presenting all relevant data and information of interest for successfully performing of a given task or mission. There are many similar definitions about C2 function in different armies. For the purpose of illustration, two of them are as follows. Firstly, according to [1]: "Command and control functions are performed through an arrangement of personnel, equipment, communications, facilities, and procedures employed by a commander in planning, directing, coordinating, and controlling forces and operations in the accomplishment of the mission". Secondly, a NATO definition: "Command and control is the exercise of authority and direction by a properly designated individual over assigned resources in the accomplishment of a common goal".

One of the most relevant papers, [2], in the field of C2 research studies, clearly presents the essence and structure of the "command and control" phenomenon as follows: basic model of military command and control processes consists of following successive phases [2]: Sensing, Processing, Comparing, Deciding and Acting.

The "Sensing" phase is related to the situational awareness. That assumes observing the environment and registering events that appears in the area. Those activities are supported by appropriate sensor equipment which helps to respond to the registered threat. Sensors have their radius of detection and they enable detection and some level of target recognition, inside detection zone. However, the threats to the military entity are usually fast moving objects (enemy's platforms: vehicles, planes, drones, missiles, etc.) in an unpredictable manner. That means that the threat may enter the detection zone, be there some time, do something or not, and leave the zone afterward. Military unit can to respond to the threat after finishing a whole cycle of the command and control process, as follows: sensing the change in environment, processing sensing data and identifying the threat, generating possible courses of actions, comparing options for action, making final decision about the problem at stake (use of force, or not), and finally, acting (response to the threat). It is obvious that command and control activities are relevant only for those threats that are still in the zones of detections and possible counteractions.

If we perceive the threat as a subject of respond of the military entity who wants to perform "service" to the incoming "client", than, in the context of queueing terminology, we have situation with renegeing queues. Clients which are in the zone of interest ("waiting for service", in a renegeing queues) are available for service

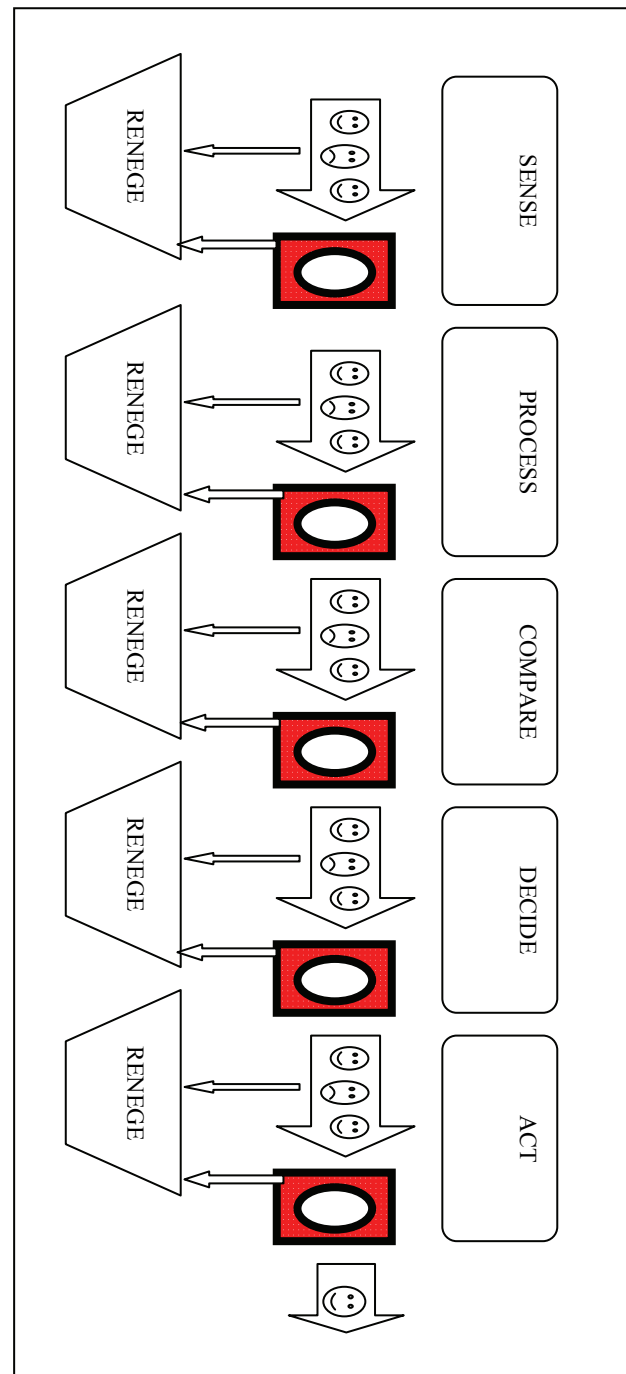
only for some limited time (τ). If not served inside that time-window (τ), they depart queue without being served (leave the zone of interest of the military unit).

Different stages of the Lawson's cycle of the military command and control process may require more or less time. In that way, they make influence on overall capability of responding to the threat. This paper considers described situation and specify appropriate requirements which have to be met in conceptual modeling of the military C2 process.

2. COMMAND AND CONTROL SYSTEMS

It is self-evident that in all phases of the Lawson's model of military command and control (Sensing, Processing, Comparing, Deciding and Acting) there are a many possibilities for influence of different stochastic factors as follows: unpredictability of warfare (the "fog of war"), factors related to the enemy, weather conditions, environment (terrain, people, infrastructure), resilience of own forces, etc.. Besides Lawson's terms, there are some other ones: in British terminology, [3], those are as follows: Sense, Warn, Consider, Decide and Execute:

- **SENSE** ("Sensing" at Lawson's model) is defined as permanent and regular task of the appropriate military unit or its subordinate entity. Capability for good sensing across attached zone of interest of the military unit is of fundamental importance for whole C2 process. Data and information gathered in the first phase have crucial influence on latter activities in each step and on final decision. Technical performances of sensing equipment could obtain decisive advantage, however, it must be followed by equally good crews and its commanders, as well as with adequate operational procedures and doctrinal solutions which will not limit a technical advantage.
- **WARN** ("Processing" at Lawson's model). Whenever some relevant event is sensed, then information about that should be processed in order to warn appropriate subject about potential threat.
- **CONSIDER** ("Comparing" at Lawson's model). On the basis of relevant information generated from data collected and filtered throughout the first two steps, decision maker and his staff develop a set of possible scenarios, conduct analysis, compares different courses of action taking into account desired end-state and formulate proposal for decision maker in charge (commander).
- **DECIDE**. On the basis of previous step commander formulate his final decision which have to be clear to all participant in the command chain in order to avoid misinterpretation and confusion. Commander's decision has to be deseminated to his subordinate units (forces that execute orders and practicaly implement decision) on time.
- **EXECUTE** ("Acting" at Lawson's model). Final stage of the command and control cycle is execution of commander's decision (acting, or responding to the threat which was initiated the whole cycle).



Picture 1: Lawson's C2 model as a queueing system

Picture 1 present basic concept of the Lawson's model of command and control process with all five phases. Additionally, this model is presented as a queueing system (queues, servers). Besides renegeing, other specific characteristic of this queueing model is fact that it is a series of five consecutive server facilities. This type of model is known as a tandem queue.

3. RENEGING QUEUES

Reneging queues is a term which denotes queueing model with impatient clients (demands, customers). Impatient client is that one which is ready to wait for service only some limited time before he enters the service channel. If impatient client do not get service entrance for some time, he leaves the queue without servicing at all. This specific

queueing phenomenon is also known under names like: queues with limited holding times, limited queueing time, bounded waiting time, queues with customer impatience, queues with restricted accessibility, or simply reneging queues. Reneging queues are of particular importance for the modeling and analyzing of some military processes and systems. In fact, one of the first published papers was written by a military researcher [4].

One of measures of performance of fundamental interest in this context is the loss probability. It presents probability that client who needs service will not be served in some specified time interval because of too long waiting time in the queue. We use results from [5] in order to find simple formula for the loss probability (p_{loss}) for queueing model of type: M/M/1.

$$p_{loss} = \frac{\rho \cdot e^{-\mu(1-\rho)\tau}}{1 + \rho \cdot \frac{\rho \cdot e^{-\mu(1-\rho)\tau} - 1}{\rho - 1}} \quad (1)$$

Table 1: Review of parameters in formulas (1) and (2)

Symbol	Meaning
p_{loss}	Loss probability presents possibility that the threat leaves the zone of interest of the defender without receiving the service
n	Number of (parallel) servicing channels of the queueing systems
μ	Service rate (mean value of a service time)
λ	Arrival rate (mean value of arrivals of the threats)
τ	Portion of time during which the threat operate inside the zone of interest of the military unit
ρ	Traffic rate per channel (ratio: $\rho=\lambda/\mu$)

In case of multichannel queueing model (M/M/n), formula for the loss probability becomes more complicated as follows (used results from [6]):

$$p_{loss} = \frac{\rho^n \cdot e^{-\mu(n-\rho)\tau}}{n! \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\rho \cdot e^{-\mu(n-\rho)\tau} - n}{\rho - n} \right\}} \quad (2)$$

Next important measure of performance of reneging queueing system is the probability of service: p_s , [6]:

$$p_s = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} \cdot z}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot (1+z)} \quad (3)$$

Parameter "z" in above expression for the probability of service, is given by next formula:

$$z = e^{\lambda\tau} (\lambda\tau)^{-n\mu\tau} \cdot \Gamma(n\mu\tau + 1, \lambda\tau) \quad (4)$$

Parameter "Γ" in above formula for parameter "z", presents Gama function with two parameters given in the brackets.

It is very important to underline that above mathematical expressions are valid only in case of validity of some traditional limitations of classical queueing theory. First of all, average intensity of arrivals of threats (λ) has to be smaller then average intensity of servicing (μ), that is, intensity of traffic rate ($\rho=\lambda/\mu$) has to be smaller then 1. Also, calculations have to be applied for each of five consecutive phases separately. However, for more realistic types of queueing models (non-Poisson arrivals, non-exponential servicing, multi-phase servicing, unreliable servicing channels, time-dependent input, transient effects, multi-channel service in some phases, etc.) it is hard to obtain analytical solution which is favorable for practical calculations. In that case application of simulation modeling method (Monte Carlo simulation, or, simulation of stochastic processes) is more suitable.

4. CONCLUSIONS

Reneging queueing or impatient customers queueing, or systems with limited queueing time, or queues with bounded waiting time, are all synonyms for type of queueing models which are of particular interest in the military applications and specifically for combat modeling cases where a targets are "available for servicing" only in a limited time interval. Queueing theory application in modeling of military command and control process is helpful for some simple situation and even more for clarifying the conceptual model of C2, while for more realistic and presentation of real conditions simulation modeling is logical choice.

Acknowledgement: The work is partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under Interdisciplinary Project No.III-47029.

REFERENCES

- [1] DoD USA, *Dictionary of Military and Associated Terms*, (www.dtic.mil)
- [2] Lawson, J., "Command and control as a process", *IEEE Control Systems Magazine*, March (1981) 5-12.
- [3] UK Army, *Operations*, Army Doctrine Publication, Ministry of Defence, Shrivenham, UK, 2010. (www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/33695/ADPOperationsDec10.pdf)
- [4] Barrer, D.Y., "Queueing with impatient customer and indiferent clerks", *Operations Research*, 5(5) (1957) 644-649.
- [5] Boots, N.K., Tijms, H., "A Multiserver Queueing System with Impatient Customers", *Management Science*, 45(3) (1999) 444-448.
- [6] Bosquet, S., *Queueing Theory with Reneging*, Defence Science and Technology Organization, Defence Systems Analysis Division, Department of Defence, Australia, 2005.



DECISION SUPPORT SYSTEM IN ASYMMETRIC WARFARE

Assoc. prof., Dipl. Ing., Pavel BUČKA, CSc.,
Armed Forces Academy of gen. M. R. Štefánik, Liptovský Mikuláš, E-mail: pavel.bucka@aos.sk

Assoc. prof. Ing., Rastislav KAZANSKÝ, PhD.
Faculty of Political Sciences and International Relations Matej Bel University, E-mail: rastislav.kazansky@umb.sk

Col. (GS, ret.) Prof. Dipl. Eng. Pavel NEČAS, PhD. MBA
Faculty of Political Sciences and International Relations Matej Bel University, E-mail: pavel.necas@umb.sk

Abstract: *The article deals with a possibility of creating a knowledge database of asymmetric threats on the basis of experience of previous operations. The main content of the database should consist of experience from previous missions, such as information about mission environment, goals of the mission, enemy in the area of engagement etc. The core of the system is a knowledge database, serving as a comprehensive source of historical information, and components supporting the assessment of risk for future missions. The experience of combat use in operations demonstrated the need for an improved training for the mission. Decision Support System is a tool which improves process of planning and executing mission in asymmetric warfare. In performing tasks in missions the system should contribute to an overall increase of combat effectiveness and protection of human lives in particular.*

Keywords: *Decision Support System, asymmetric warfare, knowledge database, mission.*

1. INTRODUCTION

Definition of asymmetric threats or warfare has various forms as disproportion, differentiation and disharmony between two or more parties in a conflict. Asymmetry is an inherent feature of crises and wars (primarily terrorist activities). The growing importance of asymmetry in present conflicts (military, terrorist and other) led to considering asymmetric threats as a separate specific area of armed operations. Typically, this area is characterized by complications, ambiguous and uncertain situation and lack of complete and reliable information on one's own and on enemy forces. However, each country perceives the definition of asymmetric threats in a different way.

According to NATO documents the asymmetric threats usually arise in relations: strong-weak or large-small. Asymmetric threats are most often posed by a party which seeking the confrontation is unable to resist the enemy in a symmetrical manner i.e. using the same or similar means of warfare. The weaker, poorer armed party of the conflict tries to choose the means of confrontation in a way which minimizes the possibility to exploit the overwhelming combat potential by opposing party. The case of asymmetric actions is having a place also when one party made a breakthrough in some technology or achieved technological revolution which increases its possibilities and the combat ability of the armed forces.

In terms of preparation for the actual operation and management of peace support operations is necessary to pay attention to the use of decision support systems. Sophisticated information has a crucial role in these systems.

2. DECISION SUPPORT SYSTEM IN ASYMMETRIC WARFARE

Decision support system (DSS) is a tool which improves process of planning and executing mission in asymmetric warfare. The core of this system is a knowledge database, serving as a comprehensive source of historical information, and components supporting the assessment of risk for future missions.

Decision support system could be used to support:

- planning at the Operational level – especially in monitoring risks in the Area Of Responsibility, managing allocation of Force Protection and pre-deployment of Force Protection,
- planning at the Tactical level in intelligence management and threat analysis – by risk assessment of the mission plan,
- mission rehearsal by mission review and simulation of potential events during the mission (short briefing based on potential risk),

- mission execution by the terrain data collection and status reporting.

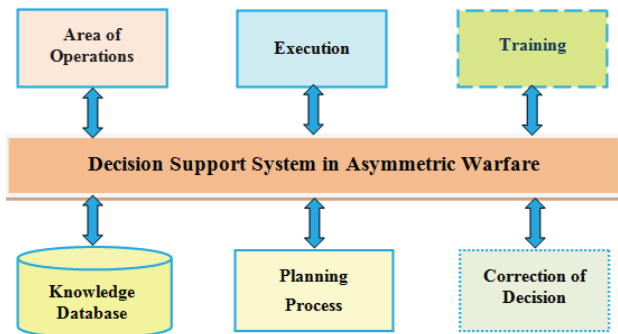
Managing information in military area is not optimized. Military planning originally focused on scheduling and deployment with less emphasis on the supply of information for mission execution (leaving that for logistics).

Current systems do not guarantee the proper (optimal, needed etc.) service level in this area. By identifying the informational content required, the following gaps in current systems can be found:

- the lack of standard asymmetric threat models and information,
- the lack of tools supporting mission planning / execution for protection against asymmetric threats,
- the lack of implementation of more sophisticated methods of data processing and filtering e.g. reasoning techniques.

We participated in the Multinational Project “Smart Information for Mission Success”, which can be used for mission planning, execution and training (Picture 1).

The core of the system is a knowledge database which defines the information scope. This scope is used as a basis for structuring the knowledge which is contained in the knowledge database. Each mission has its parent mission, except for missions at strategic level. At the lowest level (lower than tactical level), mission only consists of one or more tasks. For the model of the database, asymmetric threats are any threats, often using non-conventional weapons and terror to achieve its goals.



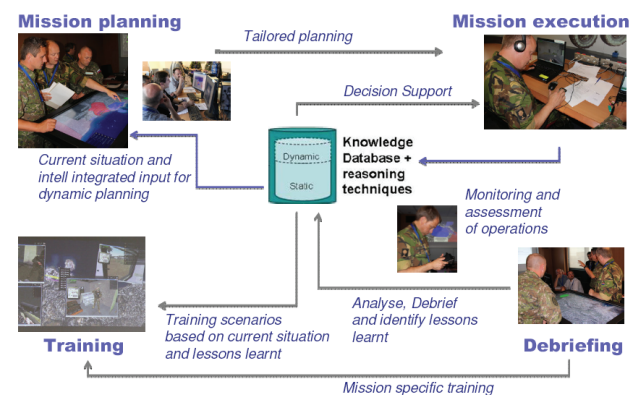
Picture 1 Decision Support System in Asymmetric Warfare

The goal of the project is to demonstrate a tool which supports management of information and can be used in order to improve process of planning and executing daily missions in asymmetric warfare. The core of the system is a Knowledge Database, serving as a comprehensive source of historical information, and components supporting the assessment of risk for future missions. Military planning still focuses on scheduling of operations and deployment of forces, mostly due to the decreased appreciation of supplying adequate information required for mission execution. The Decision Support System with Knowledge Database can offer a solution to that problem

by providing methods and tools which extend the results of planning by using information schemes for mission execution. The system aims to develop a set of new mission supporting tools that aid force protection in an asymmetric warfare context, both in urban and non-urban environment. Knowledge Database creates basis of Decision Support System in Asymmetric Warfare.

3. DECISION SUPPORT SYSTEM WITH KNOWLEDGE DATABASE

Military experts start to consider information as the main factor that determines victory or defeat. Therefore, a decisive aspect that influences the success of the combat, regardless of the nature of mission, will be the ability to effectively acquire, generate, transmit and manage information. The core of the system is a knowledge database which defines the information scope (Picture 2).



Picture 2: Knowledge database - the core of the system

This scope is used as a basis for structuring the knowledge which is contained in the knowledge database. The requirements which define the knowledge database are derived from analysis of user needs and analysis of example scenarios of the knowledge database use.

The concept of a mission is defined as different types of activities performed by military units. The most important part of a mission is task to be performed in order to achieve a specific purpose. The terms used in a mission are presented below.

- Superior mission: A higher level mission, in which the current mission takes part.
- Mission Characteristics: The following characteristics of the mission represent mission concepts:
 - Order: A communication written, oral or by signal, which conveys instructions from a superior to a subordinate. There are different types of orders for planning: Fragmentary order, Operational order and Warning order.
- Description (tasks, area, units, time, objective, purpose).
- Course of Action: optional parameter which described a detailed plan how to perform a task.
- Commander Intent: a clear and concise statement of what the force must do and the conditions the force

must meet to succeed with respect to the enemy, terrain and the desired end state.

- Mission Type: the type of the mission: offensive, defensive, stability, etc.,
- Rules of engagement: Directives issued by competent military authority which specify the circumstances and limitations under which forces will initiate and continue combat engagement with other forces encountered:
 - Mission procedures: Procedures of executing tasks during the mission e.g. standard operating procedures related to the mission.
- Mission Assessment: a result of analysis of data from previous missions, which include mission reports, results from reasoning techniques, applications and lessons learnt from previous missions.

The following terms are important when describing a mission, but they are not a part of the mission concept itself:

- Environment: the environment in which the mission will be executed is described in the Environment concept. The mission environment is associated with the Operational area (each operational area has a specific environment),
- Other assets: assets other than military units taking part in mission execution, involved in mission, e.g. NGOs or Humanitarian organization protected during stability mission. Assets are described as parts of mission concept,

The forces concept comprises a series of resources employed by the forces to achieve the mission goal. The different types of assets are following:

- Means of war: these are the means used for warfare. They include weapons and sensors etc.:
 - Weapon: A weapon that is chemical, biological, radiological nor nuclear is considered a conventional weapon used by military groups.
 - Sensor: Equipment which detects and may indicate or record objects and activities.
 - Vehicle: A self-propelled, boosted, or towed conveyance for transporting a burden on land, sea or through air or space.
- Civilians: Sometimes civilians can be part of Civil-Military Operations. Host-nation support and care of displaced civilians and they represent a value for the mission.
- Construction: Some buildings that are of special value for the success of the mission.
- Humanitarian organizations: A private, voluntary organizations with no governmental established for the purpose of fulfilling a range of activities, in particular development-related projects and organized at local, national, regional or international level.
- Military unit: A military element whose structure is prescribed by a competent authority.
- Asset VIP: A person of high level of authority who is to be protected as a part of mission goals.

To describe asymmetric threats in knowledge database the following terms are used.

- Asset: Anything that has a value to the part of the conflict. Contrary to its popular meaning, in this document “Asset” means also “objects unable to perform any action by themselves”.
- Threat: It is a potential cause of an incident that may result in personal accident to military organization or other assets. Threats are realized in incidents. Examples of threats are:
 - IED explosion,
 - Mortar and rocket attack,
 - Sniper fire,
 - Attack a humanitarian convoy,
 - Attack on a patrol, a base, a check point, a helicopter and other.
- Event: Anything that occurs and is recorded in the system,
 - Incident: An event that may happen to any asset. The difference between the terms “threat” and “incident” is that “threat” means a possible menace, whereas “incident” means something which has already happened.
- Vulnerability: A weakness of an asset that can be exploited by one or more threats. Vulnerability is a characteristic of an asset.
- Force protection: All measures and means that can be used to minimize a vulnerability of any asset to any threat in any situation, or to preserve freedom of action and the operational effectiveness of the force.

The environment of the mission is usually defined as weather and terrain of an area. The concept of the environment in project is defined by the following terms:

- Area of Operations: An operational area, which is defined by a commander for land, air or maritime forces to conduct military activities. Area of operations is sufficient in size for the joint force component commander to accomplish assigned missions and protect forces. The area of operations in the project is classified according to the type of area where the military operation is conducted into:
 - Area of influence: It is a geographical area where a commander is directly capable of influencing operations by manoeuvre or fire support systems normally under his command or control,
 - Area of interest: It is the area of concern to a commander relative to the objective of current or planned operations, including his areas of influence, operations,
 - Base: It is a location from which operations are projected or supported.

Usually an area can be described by the environment that surrounds it, in project the area of operations does not cover all aspects of the environment and it is only a military term. Therefore, we introduce the concept of actual area as follows:

- Actual area: An area, which contains the Area of Operations and its surroundings where the mission is being conducted.

Other aspects describing the environment of the area are weather, sides and background.

- Weather: The weather of the area where the mission is conducted. The area includes the Area of Operations and its surroundings. The information about the weather can be stored in the database as:
 - Actual weather: Information about observed weather conditions,
 - Weather forecast: Prediction of future weather conditions,
- Background: Background information about the area where the mission takes place. e.g. its history, culture, religion, behaviour, life style, and any type of additional information on the environment,
- Sides: General information about the forces taking part in the mission. This includes Own Forces and Enemy Forces.

4. CONCLUSION

Knowledge Database and system development for decision making support are important elements of international crises management. It can be very useful for mission planning, mission execution and mission training. The core of the system is a Knowledge Database, serving as a comprehensive source of historical information, and components supporting the assessment of risk for future missions.

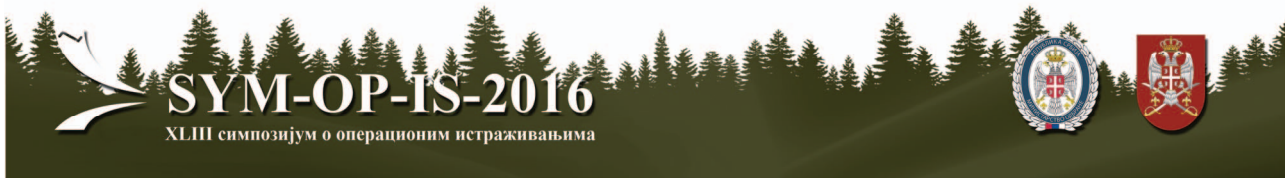
The knowledge base will allow automatic data update from sensors detections reporting on mission environment. The system will also support the analysis of asymmetric threat history and models, the exploration of information related to the specific type of mission and threat. The system will provide effective access to all data stored in the knowledge base, which will update data from the structured process of gathering lessons learnt

Most of the advanced armies in the world have formal mission support concepts, command computerization and well developed databases with algorithms for these kinds of systems. The features of these systems were defined on the basis of factual and deductive databases with

generalized knowledge, expressed in the procedural layer at the operational – tactical layers.

REFERENCES

- [1] ŽÁK, M., BELAN, L., KELEMEN, M., BUČKA, P., SOPÓCI, M., JURČÁK, V., SPILÝ, P., KREDATUS, O., MAJCHÚT, I., GÁNOCZY, Š., ŽÍDEK, R., LABUZÍK, M., ŠIMČEKOVÁ, A. *Modelovanie asymetrických hrozieb. Závěrečná výskumná správa o riešení Štátneho projektu vedy a výskumu. AOS gen. M. R. Štefánika: Liptovský Mikuláš, 2011, 279 s.*
- [2] ŽÁK, M., BUČKA, P.: *Analýza rizík v systéme na podporu rozhodovania SIMS*. In: Národná a medzinárodná bezpečnosť 2012 [elektronický zdroj] : medzinárodná vedecká konferencia. - Liptovský Mikuláš : Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika, 2012. - ISBN 978-80-8040-450-5. - CD-ROM, S. 547-556. - ISBN 978-80-8040-4508-5.
- [3] BUČKA, P., ŽÁK, M.: *Knowledge database of asymmetric threats*. In: Bezpečnostní technologie, systémy a management 2013. 4. mezinárodní bezpečnostní konference, Zlín 11. -12. září 2013. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, 2013. - ISBN 978-80-7454-289-3. - CD-ROM, s. 1-7.
- [4] ŽÁK, M., BUČKA, P.: *Decision support with knowledge database in asymmetric operation area*. In: AFASES - 2011: scientific research and education in the air force : the 13th international conference of scientific papers : Brasov, 26-28 May 2011. - Brasov : Air Force Academy, 2011. - ISSN 2247-3173. - S. 653-658.
- [5] *SIMS = Smart information for mission success : WP 6.4: rozširovanie : dissemination [Sofistikované informácie pre úspech misie]*. Vedúci riešiteľ projektu Miroslav Žák ; vedúci riešiteľ pracovnej časti Pavel Bučka. Liptovský Mikuláš, 2012. CD-ROM, 666 s.



РОДНО ОДГОВОРНО БУЏЕТИРАЊЕ У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ

GENDER RESPONSIVE BUDGETING IN THE MINISTRY OF DEFENCE

БИЉАНА СТОЈКОВИЋ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, biljana.stojkovic@mod.gov.rs

Резиме: *Механизам родно одговорног буџетирања у Републици Србији дефинисан је у Националном акционом плану за примену Резолуције 1325 Савета безбедности Уједињених нација – Жене, мир и безбедност у Републици Србији (2010-2015) као „механизам под којим се подразумева практична уградња стандарда Европске уније у родне политике и праксе, како би се унапредила политика родне равноправности у друштву“. У протеклих пет година спровођења тог плана, поменути механизам родно одговорног буџетирања успостављен је у Министарству одбране, а раније је као пракса у Републици Србији постојао само у Покрајинском секретаријату за рад, запошљавање и родну равноправност Аутономне Покрајине Војводине. Усвајањем Стратегије родне равноправности (2016-2020) и Плана активности за спровођење Стратегије родне равноправности (2016-2018), Министарство финансија и Координационо тело Владе за родну равноправност, у складу са захтевима у процесу придруживања Републике Србије Европској унији, предвидело је успостављање тог механизма и у свим органима државне управе у 2016. години. Стога су искуства Министарства одбране у операционализацији овог механизма и његовој примени у пракси од значаја за све органе државне управе.*

Кључне речи: *стратегија, план, финансије, буџет, род, стандардизација.*

Abstract: The mechanism of gender responsive budgeting in the Republic of Serbia is defined in the National Action Plan for the implementation of Security Council Resolution 1325 United Nations - Women, Peace and Security in the Republic of Serbia (2010-2015) as a "mechanism, which comprises a practical installation standards of the European Union in international policy and practice, in order to promote gender equality policies in society." In the past five years of implementing the plan mentioned mechanism of gender responsive budgeting has been established in the Ministry of Defence, and previously as a practice in the Republic of Serbia existed only in the Provincial Secretariat for Labour, Employment and Gender Equality of the Autonomous Province of Vojvodina. The adoption of the Strategy of Gender Equality (2016-2020) and the Action Plan for Implementation of the Strategy of Gender Equality (2016-2018), the Ministry of Finance and the Government's Coordination Body for Gender Equality, in accordance with the requirements in the accession process of the Republic of Serbia to the European Union envisaged the establishment of this mechanism and in all organs of the state administration in 2016. Therefore, the experience of the Ministry of Defence in the operationalization of this mechanism and its application in practice of importance for all public administration bodies.

Keywords: *strategy, plan, finance, budget, gender, standardization.*

1. УВОД

Поводом десетогодишњице од усвајања Резолуције 1325 Савета безбедности Уједињених нација, са циљем достизања стандарда родне равноправности развијених земаља, Влада Републике Србије је својим *За-кључком 05 број 337-9657/2010* од 23. децембра 2010. године усвојила *Национални акциони план за примену Резолуције 1325 Савета безбедности Уједињених нација – Жене, мир и безбедност у Републици Србији (2010-2015)*, [1] чије је петогодишње спровођење завршено 2015. године. Овај план, у првом поглављу, које се односи на институционална тела и механизме родне равноправности, предвиђа успостављање механизма родно одговорног буџетирања у 12 надлежних министарстава, управа и агенција. Међутим, у протеклих пет година спровођења тог плана, механизам родно

одговорног буџетирања успостављен је једино у Министарству одбране, док је нешто раније, овај механизам уведен у практичну употребу у Покрајинском секретаријату за рад, запошљавање и родну равноправност Аутономне Покрајине Војводине.

Имајући у виду наведено, Координационо тело Владе за родну равноправност и Министарство финансија, у складу са међународним стандардима, предвидели су успостављање родно одговорног буџетирања у свим органима државне управе у 2016. години. Таква политика садржана је у мерама *Стратегије родне равноправности (2016-2020)* и *Плану активности за спровођење Стратегије родне равноправности (2016-2018)* [2], који су усвојени на Влади 14. јануара 2016. године, као и у *Закону о изменама и допунама Закона о буџетском систему* из 2015. године [3]. Посматрано

са тог становиштва, искуства Министарства одбране у примени овог механизма добијају на значају у савремености, поготово у делу његове оперативне примене ради унапређења ефикасности система одбране и унапређења људских права запослених у Министарству одбране и Војсци Србије, али и као позитивна пракса која се може применити и у раду осталих органа државне управе у Републици Србији.

2. ОДРЕЂЕЊЕ РОДНО ОДГОВОРНОГ БУЏЕТИРАЊА

Имајући у виду да је буџет једно од најзначајнијих економских и политичких инструмената државе, с обзиром на чињеницу да без новчаних средстава нема ни успешног спровођења политика, произилази закључак да родно одговорно буџетирање подразумева да су потребе и интереси жена и мушкараца равноправно укључени у политике расхода и прихода. То, другим речима, значи да је Република Србија, као чланица Уједињених нација (УН), прихватила уградњу међународних стандарда родно одговорног буџетирања као своју обавезу и стога предузима мере буџетске политике за њихову уградњу у домаћа документа и у оперативну примену.

Ова политика има своје упориште у исходима са Конференције УН, одржане у Пекингу 1995. године, када су земље чланице УН усвојиле *Стратегију за интеграцију родне равноправности у све области политика и процесе доношења одлука*. На тој Конференцији је усвојен завршни документ, познат и под називом "Пекинг + 5" који обухвата **родно буџетирање** и подсећа земље чланице УН да га примењују на свим нивоима, укључујући и регионални ниво, што је учињено, рецимо, у оквиру Европске уније (ЕУ). Након тога је Европски парламент, 2003. године, усвојио *Резолуцију о родном буџетирању* која позива Европску комисију и земље чланице ЕУ да спроводе родно буџетирање "што се посебно односи на земље које су у процесу придруживања ЕУ", што је са становишта спољнополитичког опредељења Републике Србије о приступању ЕУ од посебног значаја.

Стога, при изради поменутог Националног акционог плана за примену Резолуције 1325 Савета безбедности УН – Жене, мир и безбедност у Републици Србији преузето је одређење овог појма Савета Европе из 2005. године, које гласи: "Родно осетљиво буџетирање је увођење принципа родне равноправности у буџетске процесе. Оно подразумева родно засновану процену буџета, укључивање родне перспективе на свим нивоима буџетског процеса, и прерасподелу прихода и расхода у циљу унапређења родне равноправности." У материјалима Агенције УН за родну равноправност и оснаживање жена – UN Women, који служе за едукацију запослених у органима државне управе у Републици Србији се наводи да родно одговорно буџетирање не представља одвојене буџете за жене или мушкарце који су 50% мушки, а 50% женски. Уместо тога, родно одговорно буџетирање интегрише свест о питањима рода у политике, планове, програме и буџете свих државних институција. Такво буџетирање има сврху да праведније усмерава сред-

ства и подстиче издвајања у буџету у циљу смањења угрожености и искључености појединих категорија становника. Стога, у перспективи, родно буџетирање превазилази поделу на жене и мушкарце и узима у обзир и друге чиниоце, као што су: локалитет, старост, етничка и социјална структура становништва (богати/сиромашни), али и друге параметре који су релевантни за родну анализу, која се као метода користи у циљу унапређења функционалности и операбилности система.

3. РЕЗУЛТАТИ РОДНЕ АНАЛИЗЕ БУЏЕТА

Развијене земље света примењују различите врсте родне анализе буџета, уз употребу различитих метода и техника анализе. Једна од најпознатијих метода је шведска родна анализа "Jam Stud", која се примењује се у развијеним земљама Европе, а у оквиру које се посебно издваја тзв. "приступ у пет корака". Реч је о техници родне анализе буџета, у којој је потребно:

- Описати **ситуацију** у којој се налазе жене и мушкарци, девојчице и дечаци (и разне подгрупе) у систему, нпр. у систему одбране;
- Проверити да ли је политика **родно одговорна**, односно да ли одговара на описану ситуацију (у буџетским терминима: *активности*);
- Проверити да ли су **адекватна буџетска средства** намењена спровођењу родно осетљиве политике (у буџетским терминима: *унос- input*);
- Проверити да ли се **трошкови реализују** по плану (у буџетским терминима: *трошкови- output*);
- Испитати **утицај политике и потрошње**, односно да ли се родна једнакост промовише по плану (у буџетским терминима: *резултати* или *исходи*).

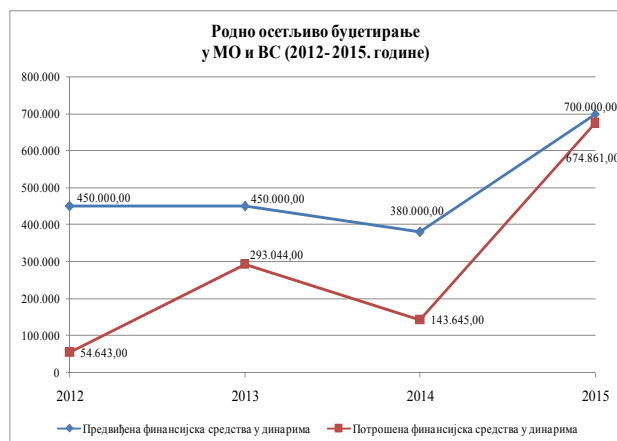
У вези са наведеним, родно осетљива анализа буџета не остаје само на испитивању да ли постоји формална политичка опредељеност за демократским развојем друштва, већ се утврђује да ли су средства намењена да би се примениле планиране активности и утрошена за оно за шта су и намењена, до кога та средства (новац) стижу, кроз анализу алокације и утрошка средстава по полу и да ли потрошња буџетских средстава мења обрасце родних неједнакости у друштву.

У Министарству одбране и Војсци Србије, нормативну основу за примену ових политика представљају *Закон о одбрани* [4] и *Закон о Војсци Србије* [5], а стратегијску основу, поред већ споменутих стратегијских докумената у области родне равноправности, чине *Стратегија националне безбедности Републике Србије* и *Стратегија одбране Републике Србије, Стратегијски преглед одбране, Средњорочни план и програм развоја система одбране од 2010. до 2015. године* и *Смернице за израду Средњорочног плана и програма развоја система одбране од 2011. до 2016. године*, које су усвојене марта 2010. године. На основу наведених докумената, израђено је *Упутство за израду главних програма у Министарству одбране и Војсци Србије*. Временски план израде Финансијског плана Министарства одбране урађен у складу са *Законом о буџетском систему Републике Србије* и *Правилни-*

ком о планирању, програмирању, буџетирању и извршењу (ППБИ) [6], који представља имплементацију НАТО (ПзМ) стандарда. Као што је углавном познато, остваривање општег циља Партнерства "G 0002" постиже се остваривањем већег броја специфичних циљева, као и једног броја активности за реализацију специфичних циљева. Акционим планом ПзМ, који је усвојен септембра 2009. године, утврђени су специфични циљеви реализације партнерства кроз: унапређене способности за дугорочно планирање одбране; разрађене процедуре за средњорочно планирање и програмирање одбране; разрађене процедуре за израду финансијског плана Министарства одбране заснованог на Средњорочном плану и програму развоја система одбране и унапређен систем праћења и извештавања о реализацији планова и програма.

У наведеном контексту, предлог за увођење родно одговорног буџетирања, у оквиру ППБИ, дала је Управа за стратегијско планирање Сектора за политику одбране Министарства одбране, 2011. године и тај механизам је уведен у праксу, почев од 2012. године. У оквиру анализе спровођења Националног акционог плана у Министарству одбране, Аналитичка група Министарства одбране и Војске Србије (МО и ВС) је редовно спроводила шестомесечну анализу родно осетљивог буџетирања и извештавала менаџмент Министарства одбране о томе да ли су планирана средства и реализована у складу са планом, каква је ефикасност утрошених средстава и да ли потрошња буџетских средстава мења родне стереотипе у МО и ВС.

Ова анализа је, између осталог, показала да се одређеним средствима рационално располагао, тј. да потрошња, у разматраном периоду, није превазилазила годишње лимите који су се кретали од 450.000,00 динара у 2012. и 2013. години, 380.000,00 у 2014. години, па све до 700.000,00 динара у 2015. години (слика 1). С друге стране, поменута анализа је показала и да је у првој години увођења родно одговорног буџетирања у Министарству одбране, тј. 2012. године, потрошено свега 54.643,00 динара од укупно одређених 450.000,00 динара, те да је ниво потрошње ових средстава растао с временом и упознавањем организацијских јединица МО и ВС и запослених у том министарству да могу да се користе наведеним средствима. Овај тренд је за последицу имао да је у 2015. години утрошено 674.861,00 динара од укупно одређених 700.000,00 динара.



Слика 1: Преглед планираних и утрошених средстава за родно буџетирање у Министарству одбране, у периоду од 2012. до 2015. године

Такође, ефикасност утрошка средстава одређених за родно одговорно буџетирање у МО и ВС се може изражавати и у процентима и мерити на основу следеће формуле:

$$E_k = \frac{E_u}{E_p} \times 100 \quad (1)$$

При чему:

E_k означава ефикасност родно одговорног буџетирања у МО и ВС;

E_u означава утрошак финансијских средстава у МО и ВС;

E_p означава планирана финансијска средства у МО и ВС.

Наведеном формулом израчунава се проценат ефикасности утрошка средстава одређених за родно одговорно буџетирање у МО и ВС, на основу разлике између утрошених финансијских средстава у односу на планирана финансијска средства, која је помножена индексом 100 због обавезе процентуалног изражавања у извештајима који се подносе менаџменту одбране и јавности у целини, на полугодишњем и годишњем нивоу.

Такође, родна анализа у Министарству одбране је указала и на чињеницу да нема дискриминације запослених по полу у односу на зараде запослених, већ да зараде зависе од више различитих и објективних фактора, као што су на пример: степен образовања, године службе, оцене рада и позиције запослених у систему одбране (односно, од тога да ли се запослени налазе на позицијама руковођења/комадовања или на извршилачким местима) итд. Стога, произилази закључак да су мушкарци запослени у МО и ВС, боље плаћени од жена у категорији професионалних војних лица (официри, подофицири и професионални војници) у којој је заступљеност мушкараца у односу на жене доминантна, али и боља позиционираност на вишим руководећим/командним дужностима за које је потребан виши ниво образовања, одличне оцене рада

и веће искуство у служби. С друге стране, жене су, у просеку, боље плаћене од мушкараца у категорији цивилних лица унутар које (као војни службеници и војни намештеници, државни службеници и државни намештеници) заузимају већи број руководећих позиција у односу на мушкарце, што се одражава и на њихову просечну зараду у тој категорији (табела 1).

Табела 1: Зарада запослених у Министарству одбране и Војсци Србије, по категорији кадра и полу, према подацима Сектора за буџет и финансије из маја 2016. године

КАТЕГОРИЈА КАДРА И ПОЛ	Просечна нето плата	Просечна бруто плата
Професионална војна лица	45.190,54	62.822,48
Женско	36.398,52	50.273,42
Мушко	45.773,51	63.654,56
Цивилна лица	39.909,58	55.280,42
Женско	41.089,77	56.966,80
Мушко	38.655,86	53.488,99
Сва лица	43.724,30	60.728,45

Међутим, родна анализа спроведена у МО и ВС је указала и на поједине проблеме. Најпре, чињеница је да се највећи број активности у спровођењу Националног акционог плана током 2010-2015. године спроводио уз финансијску помоћ појединих међународних организација, а не на основу посебно одређених буџетских средстава Републике Србије. Друго, Одељење за ППБИ у Сектору за политику одбране је приказивало потрошњу буџетских средстава само у Министарству одбране, док су јединице Војске Србије, у недовољној мери упознате са механизмом родно одговорног буџетирања и самим тим, у недовољно мери су, у периоду од 2012. до 2015. године, партиципирали у планирању и коришћењу тих средстава.

Да би се отконили уочени недостаци, предвиђено је да систем родно одговорног буџетирања, почев од 2016. године, представља функционалну надлежност Сектора за буџет и финансије, који ће, самим тим планирати средства за цео систем МО и ВС (2016-2018). Осим тога, за све припаднике МО и ВС током 2016. године планирана је и у току је реализација обука запослених о родно одговорном буџетирању, на основу *Инструкције за обуку запослених у МО и ВС у 2016. години*. Такође, на основу *Закона о изменама и допунама Закона о буџетском систему*, Министарство финансија је 31. марта 2016. године донело *План увођења родно одговорног буџетирања у поступку припреме и доношења буџета Републике Србије за 2017. годину* [7]. Планом је предвиђено да 28 корисника буџетских средстава, у које је уврштено и Министарство одбране, ураде родну анализу расхода и издатака за 2016. годину и формулишу, у оквиру једног или више програма или програмских активности, најмање један циљ и одговарајуће индикаторе који адекватно мере допринос циља - унапређење равноправности између жена и мушкараца-

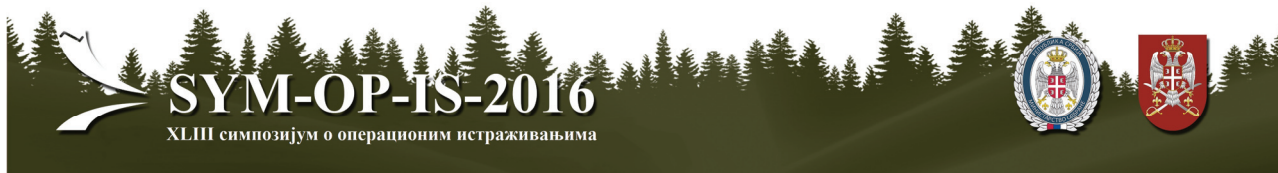
ца, што ће се операционализовати тако што ће сви индикатори који се односе на запослена лица бити разврстани и по полу. Наведена промена утицаће на ефикаснију потрошњу предвиђених буџетских средстава у зависности од дефинисаних циљева.

5. ЗАКЉУЧАК

У актуелној реформи органа државне управе, значајно место заузима уградња међународних стандарда који се односе на родно одговорно буџетирање. У вези с наведеним, треба истаћи да је Министарство одбране, међу првим органима државне управе у Републици Србији, започело процес уградње механизма родно одговорног буџетирања 2012. године, у оквиру спровођења *Националног акционог плана за примену Резолуције 1325 Савета безбедности Уједињених нација – Жене, мир и безбедност у Републици Србији (2010-2015)*. Међутим, у оквиру унапређења примене тог механизма у свим организацијским јединицама МО и ВС у наредном периоду (2016-2020), потребно је постојећу родну анализу унапредити анализом ефеката расподеле буџетских средстава и доследнијом применом факторске и вишекритеријумске анализе. На тај начин би се постојећа анализа зарада запослених по полу и категорији кадра, значајније унапредила и анализом ефикасности утрошка предвиђених буџетских средстава у односу на декларисане циљеве и активности родно одговорног буџетирања у МО и ВС и страније би био сагледан и приказан утицај различитих фактора на операбилност система одбране.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Национални акциони план за примену Резолуције 1325 Савета безбедности Уједињених нација – Жене, мир и безбедност у Републици Србији (2010-2015)*, "Службени гласник РС", број 102/10, Београд, 30. децембар 2010. године.
- [2] *Стратегија родне равноправности (2016-2020) и План активности за спровођење Стратегије родне равноправности (2016-2018)*, "Службени гласник РС", број 4/16, Београд, 2016. године.
- [3] *Закон о изменама и допунама Закона о буџетском систему*, "Службени гласник РС", број 103/15, Београд, 2015. године.
- [4] *Закон о одбрани* ("Службени гласник РС", бр. 116/07, 88/09, 88/09 – др. закон, 10/09 – др. закон, 10/15),
- [5] *Закон о Војсци Србије* ("Службени гласник РС", бр. 116/07, 88/09, 101/10 – др. закон, 10/15).
- [6] *Правилник о планирању, програмирању, буџетирању и извршењу у Министарству одбране и Војсци Србије* ("Службени војни лист", бр. 31/08),
- [7] *План увођења родно одговорног буџетирања у поступку припреме и доношења буџета Републике Србије за 2017. годину*, акт Министарства финансија број 401.00-01292/2016-03 од 31. марта 2016. године.



БЕЗБЕДНОСНО ОКРУЖЕЊЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ – SWOT АНАЛИЗА И TOWS МАТРИЦЕ

SECURITY ENVIRONMENT OF THE REPUBLIC OF SERBIA - SWOT ANALYSIS AND TOWS MATRIX

БОЖИДАР ФОРЦА

Универзитет одбране у Београду, Војна академија, forcabozidar@gmail.com

ДРАГОЉУБ СЕКУЛОВИЋ

Универзитет одбране у Београду, Војна академија, sekulovicdr@yahoo.co.uk

ЗОРАН МАЧАК

Министарство одбране, Управа за стратегијско планирање, zoran.macak@mod.gov.rs

Резиме: Безбедност и одбрана сваке земље јесу питања од виталног националног значаја. Стога, безбедносна функција је једна од кључних функција државе. Стратегијско планирање у сфери безбедности и одбране као једну од првих активности има анализу безбедносног окружења. Та анализа, врло често, спроводи се применом SWOT анализе, или методе, како је неки називају. У раду је дат сажет приказ SWOT анализе безбедносног окружења Републике Србије, са само неким примерима снага и слабости система безбедности, с једне и, шансама и претњама из окружења, с друге стране. Такође, дат је избор могућих TOWS стратегија, у складу са идентификованим претњама, шансама, слабостима и снагама.

Кључне речи: Безбедносно окружење, SWOT анализа, TOWS стратегија.

Abstract: Security and defense of each country are issues of vital national importance. Therefore, the security function is one of the key functions of the state. Strategic planning in the sphere of security and defense as one of the first activities have an analysis of the security environment. This analysis, quite often, is carried out using the methods SWOT analysis or as some call it. The paper gives a concise review of SWOT analysis of security environment of the Republic of Serbia, with the realization of the strengths and weaknesses of the security system, on the one hand, and the opportunities and threats from the environment, on the other hand. Also, given the range of possible TOWS strategies, in accordance with the identified threats, opportunities, weaknesses and strengths.

Keywords: Security environment, SWOT analysis, TOWS strategy.

1. УВОД

Република Србија од 2006. године настоји да пристигне модерне земље, пре свега успостављајући све државне функције, с посебним фокусом на подручју безбедности и одбране. Бројни чиниоци детерминисали су стратешко одређење безбедности и одбране након 2006. године, а имају политичку, економску, војну, социјативну (друштвену), еколошку и друге димензије, као и спољни и унутрашњи карактер. У стратегијском планирању, као кључном процесу дефинисања сфере безбедности и одбране, један од првих корака (активности) јесте анализа безбедносног окружења. У тој активности врло често користи се SWOT анализа. Та врста анализе је изузетно позната и примењива у свим сферама људске делатности, те је не треба посебно представљати у овом раду. Аутори су приказали могућност њеног унапређења IFE и EFE матрицама

На основу SWOT анализе, дати су неки примери за примену TOWS стратегија.

2. СНАГЕ И СЛАБОСТИ СИСТЕМА БЕЗБЕДНОСТИ

Систем безбедности Републике Србије дефинисан је на следећи начин: „Систем националне безбедности представља нормативно, структурно и функционално уређену целину елемената чијом се делатношћу остварује заштита националних интереса Републике Србије“ [6]. У складу са наведеном дефиницијом, трагање за снагама и слабостима система националне безбедности Републике Србије (тзв. унутрашња анализа) упућује нас у нормативу (закони, стратегије, прписи), организацију и функционисање система. То је, свакако, један могући пут. Међутим, у примени SWOT анализе бројни аналитичари препоручују, као технику, коришћење тзв. PESTLE методе. Назив мето-

де (технике) потиче од првих слова енглеских речи **Politics** (политика), **Economy** (економија), **Security** (безбедност), **Technology** (технологија), **Legislative** (закони), **Environment** (околина). Вероватно, оптимално решење је у примени оба приступа, што ће бити учињено и у овом раду. Други аспект у примени SWOT анализе јесте да се и снаге и слабости покушају скалирати, односно рангирати по утицају, од највећег до најмањег. Једна од техника чијом применом се допуњују и појашњавају резултати SWOT анализе је IFE (engl. **I**nternal **F**actors **E**valuation) матрица [5]. Креирању IFE матрице почиње препознавањем чинилаца (између 10 и 20). Сваком чиниоцу додељује се коефицијент тежине (пондер) чија је вредност између 0 и 1 (0% и 100%). Збир пондера свих чинилаца треба да буде 1 (100%). Потом се сваком чиниоцу додељује вредност која може да буде у распону од 1 до 4 (1 – изразита слабост, 2 - незнатна слабост, 3 - незнатна снага и 4 - изразита снага). Затим се коефицијент тежине сваког чиниоца множи са његовом вредношћу чиме се добија пондерисана вредност за сваки чинилац. У последњем кораку креирања IFE матрице, сабирају се пондерисане вредности свих разматраних чинилаца чиме се добија укупна пондерисана вредност за систем безбедности. Без обзира на број чинилаца, укупна пондерисана вредност може да буде у распону од 1,00 до 4,00. Ако је испод 2,50 доминирају слабости, а уколико је изнад 2,50 доминирају снаге. У складу с наведеним, неке од снага и слабости система безбедности Републике Србије дате су у Табели 1.

Табела 1. Неке од снага и слабости система безбедности Републике Србије – пример IFE матрице

СНАГЕ	Пондер	Вредност	Пондерисана вредност
Одржавање и јачање политичке стабилности у земљи;	11%	4	0,44
Јачање економије и побољшање фискалне консолидације;	8%	4	0,32
Однос према мигрантима на „балканској рути“;	6%	3	0,18
Поверење народа у Војску Србије	6%	3	0,18
Јачање капацитета одбрамбене индустрије	5%	3	0,15
Учешће Војске Србије у мултинационалним операцијама	4%	3	0,12
СЛАБОСТИ			
Застој у нормализацији односа Београд-Приштина;	10%	2	0,20
Није успостављена Заједница српских општина на КиМ	10%	2	0,20
Страначка нетолеранција	9%	2	0,18
Спорост у смањивању стопе криминала и корупција;	9%	2	0,18
Тренд смањења финасијских средстава за буџет одбране	7%	2	0,14
Низак ниво модернизације Војске Србије;	6%	1	0,06
Неразвијен систем цивилне заштите;	5%	1	0,05
Неадекватан систем заштите и спасавања у ванредним ситуацијама	4%	1	0,04
Укупна пондерисана вредност	100%		2,44

3. ШАНСЕ И ПРЕТЊЕ ИЗ ОКРУЖЕЊА

На националну безбедност утичу безбедносне појаве, именоване као извори, облици и носиоци [4]. Те безбедносне појаве прагматизам је преименовао у изазове, ризике и претње безбедности и под тим називом их срећемо у бројним безбедносним стратегијама земаља света. С друге стране, нормативно, организационо и функционално детерминишући безбедносну функцију држава, *de iure*, успоставља сопствени систем безбедности, који у интеракцији с окружењем представља својеврстан изазов. Тако, на пример, прокламована војна неутралност Републике Србије [8] јесте нека врста изазова, у безбедносном смислу посматрано, уколико се посматра статус и безбедносне оријентације у нашем окружењу. Чињеница је да све земље нашег окружења, или су чланице НАТО и ЕУ, или су на путу да то постану. Статус земаља окружења (изузев БиХ) је: чланице НАТО и ЕУ (Мађарска, Румунија, Хрватска, Словенија); чланице НАТО и кандидат за чланство у ЕУ (Албанија); кандидати за чланство у НАТО и ЕУ (Македонија и Црна Гора). БиХ је потенцијални кандидат за чланство у ЕУ, док је однос према НАТО недефинисан. На трећој страни, као и на примеру идентификације снага и слабости сопственог система, тако се и у анализи изазова, ризика и претњи безбедности може применити PESTLE техника.

Безбедносне оријентације сваке државе изузетно су сложени чиниоци, те се појединачно посматрано, нека одређења могу наћи и у домену шансе (прилике) али и као претње сопственој безбедности. Типичан пример за Републику Србију јесу два одређења, која се у политичким круговима карактеришу као ставови: (1) Србија ће ући у ЕУ целовито (с Косовом и Метохијом, прим. аутора) или никако и (2) и ЕУ и Русија [7].

Идентификовани изазови, ризици и претње безбедности појединих држава, најчешће, срећу се у документима који носе назив *стратегија националне безбедности* или *безбедносна стратегија*. У пилот истраживању за потребе израде овог рада, анализи су подвргнуте безбедносне стратегије девет земаља (САД, Русија, Мађарска, Румунија, Чешка, Словенија, Хрватска, Црна Гора и Србија) и ЕУ.

Фреквенција изазова, ризика и претњи у тим стратегијама има следећи карактер:

а) **Помињу се у свим стратегијама – Тероризам; Напад** типа агресије (међународни сукоб и његово преливање, без обзира на вероватноћу тог сукоба); **Ширење (пролиферација) оружја за масовно уништење; Урушавање држава** (слабљење демократије, корупција и организовани криминал); **Економска криза** (значајни поремећаји у економији и финансијама); **Високотехнолошки криминал** (информациони рат, сајбер претње...); **Угрожавање животне средине** (еколошке претње, природне и људским деловањем изазване катастрофе и несреће); **Угрожавање здравља** (пандемије, епидемије и слично).

б) Помињу се у највећем броју стратегија – Миграције становништва (велике, илегалне и слично); Несташица природних ресурса; Беда и сиромаштво појединих региона света; Деловање страних обавештајних служби; и Трговина људима, оружјем и наркотицима.

в) Помињу се само у стратегији поједине земље – Скуп изазова, ризика и претњи, пре свега на унутрашњем плану, карактеристичан за сваку земљу понаособ, а тако и формулисан (нпр. једнострано и неправно проглашење независности Косова; рат у бившој СФРЈ; проблеми утврђивања граница са суседима...).

Безбедносне стратегије се доносе за одређени период будућности, који јесте или није временски детерминисан код појединих држава. Тако на пример, Безбедносна стратегија ЕУ [1] донета је 2003. године и очекује се њена ревизија ове или наредне године. Стратегија националне безбедности Републике Србије [6] усвојена је 2009. године и мења се у складу са променом чинилаца који је детерминишу. На трећој страни, Национална стратегија безбедности Русије термински је омеђена 2020. годином. Уважавајући наведено, само неке од шанси и претњи из окружења приказане су у Табели 2.

Табела 2. Шансе и претње из окружења

ШАНСЕ	ПРЕТЊЕ
<p>Убрзање преговора о приступању Србије ЕУ;</p> <p>- Прилив страних инвестиција;</p> <p>- Стратешко партнерство с Русијом и Кином;</p> <p>Јачање сарадње са земљама региона;</p> <p>- Укључивање у пројекте ЕДА и pooling&sharing програм ЕУ.</p>	<p>- Признавање независности Косова од стране свих чланица ЕУ;</p> <p>- Ултиматум Србији да призна независност Косова;</p> <p>- Рефлексија погоршаних односа ЕУ (запад) - Русија на однос према Србији;</p> <p>- Блокирање преговора о приступању Србије ЕУ;</p> <p>- Погоршавање односа са САД, случај „браћа Битићи“;</p> <p>- Преливање унутрашње нестабилности држава Западног Балкана на регион;</p> <p>- Ревизија Дејтонског споразума на штету Републике Српске;</p> <p>- Јачање аспирација Албаније према Косову и Метохији;</p> <p>- Слабење прилива страних инвестиција;</p> <p>- Измицање контроли миграција из ратом захваћених подручја;</p> <p>- Јачање вехабизма и тероризма у региону;</p> <p>- Природне несреће и катастрофе.</p>

И овде се ради смањења субјективности SWOT анализе, аналогно примени IFE матрице за анализу шанси и претњи из окружења, може применити EFE (engl. External Factors Evaluation) матрица.

4. TOWS МАТРИЦЕ

SWOT анализа је само један корак у анализи безбедносног окружења. Наиме, за целовиту анализу резултати SWOT се претварају у тзв. TOWS матрице, односно стратегије. Сам назив TOWS потиче од тога да се у њиховој изради полази од претњи (Threats) и шанси (Opportunities), а зарад изналагања пута елиминисања или смањења сопствених слабости (Weaknesses) и искоришћења властитих снага (Strengths). У литератури [2] као TOWS матрице (стратегије), срећу се следећи облици: (1) **Макси-макси**: Коришћење снага како би се реализовале шансе (прилике); (2) **Макси-мини**: Коришћење снага како би се суочили са претњама; (3) **Мини-макси**: Превладавање слабости како би се могле искористити шансе (прилике) и (4) **Мини-мини**: Превладавање слабости како би се одбранили од претњи или да се исте избегну. У складу с наведеним, у раду је дат само пример избора решења у TOWS матрици, који је усклађен с приказом SWOT анализе (Табела 3).

Табела 3. Могући пример TOWS матрице

МАКСИ-МАКСИ СТРАТЕГИЈА:	МАКСИ-МИНИ СТРАТЕГИЈА:
Наставити досадашњи тренд односа према мигрантима на „балканској рути“, како би се ојачала наклоност водећих земаља ЕУ у политичком, економском и безбедносном смислу.	Дозирање билатералних односа са Русијом и Кином, како би се амортизовали притисци запада на Србију и спречило успорење њеног пута ка ЕУ
МИНИ-МАКСИ СТРАТЕГИЈА:	МИНИ-МИНИ СТРАТЕГИЈА:
Решавање проблема одбрамбене индустрије, како би се укључили и користили бенефите пројекта ЕДА (Европска одбрамбена агенција).	Решити случај „браћа Битићи“, како би се ублажио притисак у билатералној сарадњи са САД. Уредити систем заштите и спасавања како би се спремније дочекале природне несреће и катастрофе.

Својеврсну допуну која може може послужити као основа за формулисање стратегије TOWS матрице представља IE (engl. Internal-External) матрица која се заснива на резултатима EFE и IFE матрице. Матрица обухвата обједињену анализу унутрашњих и спољашњих чинилаца. Формира се тако што се укупна пондерисана вредност из EFE матрице наноси на у-осу, а укупна пондерисана вредност из IFE матрице на х-осу координатног система. Тачка одређена вредностима

укупних пондерисаних вредност и из EFE и IFE матрице приказује позицију система безбедности у односу на окружење

TOWS матрице (стратегije) јесу један од чинилаца који указује на дефинисање стратешких принципа (опредељења) и општег плана деловања које држава треба да утврди ради повећања сопствене безбедности. Ти принципи се преузимају из приказане матрице, свакако с њиховим уобличавањем у складу са утврђеним начином исказа у политичком дискурсу.

5. ЗАКЉУЧАК

Чињеница је да се стање у савременим међународним односима квалификује више као нестабилно него као стабилно, чему највише доприносе погоршани односи између великих сила. Често срећемо квалификације да је на помолу нови хладни рат, док се могу наћи и песимистичка одређења да се спрема велики рат. У таквим условима, такође, сведоци смо чињенице да су све велике силе света донеле нове безбедносне стратегије, што најављује и ЕУ. У тим стратегијама, као полазна одредница, налази се идентификација изазова, ризика и претњи безбедности.

Република Србија усвојила је Стратегију националне безбедности 2009. године. У Стратегији је утврђено да се мења у складу са променом чинилаца који је детерминишу. Стање у нашем окружењу (Западни Балкан и шире) упућује на закључак да се изазови, ризици и претње безбедности наше земље мултипликују, „враћају на деведесете године“ и усложњавају.

Анализа безбедносног окружења спроводи се на различите начине. Један од начина је и примена SWOT

анализе и TOWS стратегија, које су препознате као солидан метод. У овом раду, аутори су, на бази познатих теоријских ставова о SWOT анализи и TOWS стратегијама (проширеним IFE, EFE и IE матрицама) изенли своје оригинално виђење, које проистиче из њихових професионалних оријентација везаних за војну каријеру, с једне, али и бављења научним радом, с друге стране. Свакако, ово виђење подложно је сваколикој критици.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *European Security strategy* - "A secure Europe in a Better World", <http://ue.eu.int/pressdata/EN-/reports/78367.pdf> (15.03.2016).
- [2] Marli Gonan Božac, *SWOT analyze i TOWS matrice – sličnosti i razlike*; Концепција и provedba strategije - Croatia osiguranja d.d. (projekat), Zagreb, 2007.
- [3] *National Security Strategy of the USA*, Washington D.C., 2015. http://www.whitehous.gov/sites/default/docs/2015_national_security_strategy.pdf (15.03.-2015).
- [4] Стајић, Љубомир, *Основи система безбедности*, Правни факултет, Нови Сад, 2013.
- [5] Стојковић, Дејан *Стратешке анализе у систему - одбране – квантитативни приступ*, SYM-OP-IS 2009, Зборник радова стр. 477-479.
- [6] Стратегија националне безбедности Републике Србије, „Службени гласник РС“, бр.88/09.
- [7] <http://www.politika.rs/sr/clanak/354627/nikolic-srbija-u-eu-celovito-tako-ili-nikako/> (10.06.2016)
- [8] <http://www.srbija.gov.rs/kosovo-metohija/index.php?id=80729> (10.06.2016)



ИЗБЕГАВАЊЕ ВАЗДУХОПЛОВНИХ КОНФЛИКАТА СИМУЛАЦИЈОМ ПЛАНОВА ЛЕТЕЊА

AVOIDING AIRCRAFT CONFLICTS USING FLIGHT PLANS SIMULATION

ВЛАДАН НЕШИЋ

Војска Србије, РВ и ПВО, Земун, vladan.nesic@gmail.com

МАРКО ЂОГАТОВИЋ, МИЛОРАД СТАНОЈЕВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Београд, m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, milorad@sf.bg.ac.rs

Резиме: Са аспекта безбедности летења процес планирања, припреме и реализације летачких активности на нивоу веће организацијске целине као што је Ваздухопловни савез једне државе или рецимо целокупно војно летење једне државе представља обиман и сложен процес. Обзиром да се ради о једновременом коришћењу јединственог ваздушног простора од стране више различитих летачких јединица, које базирају на истом или различитим аеродромима, користе различите типове ваздухоплова различитих перформанси лета, процес је у целини утолико сложенији. У овом раду представљен је симулациони модел планираних летачких активности, више самосталних јединица, дан пре почетка извршења летачких активности где се откривају све могуће конфликтне ситуације и предузимају потребни кораци за њихово разрешење.

Кључне речи: Конфликтна ситуација, ваздухоплов, симулација, план летења.

Abstract: Concerning flight safety rules, mission planning, preparation and realization processes within wider organizational unit as well as Aeronautical union, or Military Air Force flying, are very comprehensive and complex. Due to the fact that it is simultaneous air space used by various types of aircraft stationed on the same or different airfields, with wide range of performances, the process is more and more comprehensive. This essay represents simulation model of flying activities more independent units the day before execution. Results will help us to realise, as well as conduct measures to prevent next day possible mishaps.

Keywords: Conflict situation, aircraft, simulation, flight plan.

1. УВОД

Координација извођења летачких активности јединица које базирају на истом аеродрому је стални процес руководећих структура на датом аеродрому, док координација летачких активности међу јединицама које базирају на различитим аеродромима најчешће је у надлежности виших руководећих структура дате организацијске целине. Летачке активности за сваку летачку јединицу се планирају по систему "данас за сутра". Свака летачка јединица израђује план летења који се састоји од низа потребних података који се односе на предстојеће летење. Тако израђени планови летења прослеђују се на јединствено оперативно место које има задатак да, методом упоређивања пристиглих планова летења, уочи све могуће конфликтне ситуације. Са аспекта безбедности летења грешке у ваздухопловству нису допустиве обзиром да се ради о специфичној средини у којој се одвијају активности, специфичној техници која се користи и људству за чију обуку и тренажу се издвајају велика материјална средства.

На основу практичног искуства може се рећи да је процес уочавања ваздухопловних конфликта методом упоређивања планова летења дуготрајан и сложен процес који је подложен људским грешкама.

За овај процес је неопходно урадити низ прорачуна везаних за време полетања, марш-руту и брзину сваког ваздухоплова појединачно на основу чега се доносе закључци о могућим конфликтним ситуацијама. Како би се олакшао посао оперативцима који раде на пословма упоређивања мноштва планова летења а уједно и елиминисала могућност генерисања људске грешке идеално би било да се планиране летачке активности симулирају. На тај начин могуће је пронаћи конфликтне ситуације и реаговати координацијом и променом параметара лета како би се дошло до решења конфликтних ситуација дан унапред. У оквиру симулационог модела неопходно је укључити анимацију ваздухоплова који се крећу (лете) по карти територије омогућивши и визуелни приказ ситуације у ваздуху. Уколико се симулацијом планова летења пронађе конфликтна ситуација симулациони модел треба да прикаже кодове конфликтних ваздухоплова и географску позицију на којој би дошло до конфликтне ситуације.

У овом раду представљен је симулациони модел који приказује планиране летачке активности, у симулираном времену дан раније пре почетка активности, уочава могуће конфликтне ситуације и генерише извештај симулације.

2. КОНФЛИКТНА СИТУАЦИЈА

Конфликтна ситуација је ситуација у којој би два ваздухоплова могла да се нађу у исто време у истом сегменту ваздушног простора који је ограничен минимума за раздвајање ваздухоплова [1]. Овај сегмент ваздушног простора назива се безбедносни простор око ваздухоплова [2]. У радарски контролисаном ваздушном простору нормe за раздвајање ваздухоплова су [1]:

- вертикално 300 м (1000 ft),
- хоризонтално 9,3 Км (5 NM).

У погледу безбедности летења за безбедно и несметано вођење ваздухоплова у дефинисаном ваздушном простору неопходно је испунити услов да се у сваком тренутку у безбедносном простору нађе само један ваздухоплов. У сваком другом случају долази до нарушавања безбедности летења. Да би се безбедност летења подигла на виши ниво, у овом случају, за конфликтну ситуацију подразумеваће се ситуација у којој би два ваздухоплова могла да се нађу унутар временског интервала од два минута, унутар 300 метара висине и на датој географској позицији. Уколико се пронађе таква конфликтна ситуација неопходно је, у координацији са летачким јединицама које су испланирале дате летове, променити неки од предходно датих и испланираних параметара лета како би се ти ваздухоплови раздвојили, односно решила дата конфликтна ситуација. Параметри који могу да се мењају, а представљају решење дате конфликтне ситуације, су: време полетања, брзина ваздухоплова и висина лета. У фази планирања и припреме летења **време полетања и висина лета** су параметери лета који се најчешће мењају како би се решила конфликтна ситуација. Фаза реализације летења (време када су ваздухоплови већ полетели), у смислу решавања конфликтних ситуација, може се поделити у две подфазе:

- тренутак када контролор летења уочи да би се конфликт могао десити у догледно време до кога **има довољно времена** да се корекцијом брзине конфликтних ваздухоплова избегне конфликтна ситуација,
- тренутак када за ову операцију **нема довољно времена**.

У првом случају, као што је већ речено, контролори летења избегавања конфликтних ситуација решавају корекцијом **брзине** конфликтних ваздухоплова. У другом случају конфликт се решава на тај начин што се ваздухопловима коригују висине (један ваздухоплов пење на виши ниво лета а други снижава) уз корекцију курса лета у случајевима када је то неопходно. У пракси постоји и могућност промене марш-руте лета конфликтних ваздухоплова али у овом раду та могућност се неће разматрати. Извршно раздвајање ваздухоплова свих летачких активности је у надлежности јединице контроле летања, која контроллише летачке активности на датим секторима ваздушног простора, али пожељно је да се још пре самог почетка извођења летачких

активности разреше све могуће конфликтне ситуације.

3. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА

На територији јединственог ваздушног простора активности летачких јединица се изводе полетањем ваздухоплова са три аеродрома базирања на којима летачке активности реализује седам летачких јединица. На аеродрому Б базирају летачке јединице Б1, Б2, Б3 и Б4 које располажу са шест различитих типова ваздухоплова (ТИП1, ТИП2, ТИП3, ТИП4, ТИП5 и ТИП6). На аеродрому К базирају летачке јединице К1 и К2 које располажу са три различита типа ваздухоплова (ТИП1, ТИП5 и ТИП7). На аеродрому Н базира летачка јединица Н1 која располаже са два различита типа ваздухоплова (ТИП5 и ТИП6). Брзине крстарења по топовима ваздухоплова су:

- ТИП1 – 500 Км/х (8.3 Км/мин),
- ТИП2 – 160 Км/х (2.7 Км/мин),
- ТИП3 – 250 Км/х (4.2 Км/мин),
- ТИП4 – 800 Км/х (13.3 Км/мин),
- ТИП5 – 200 Км/х (3.3 Км/мин),
- ТИП6 – 300 Км/х (5.0 Км/мин),
- ТИП7 – 600 Км/х (10.0 Км/мин).

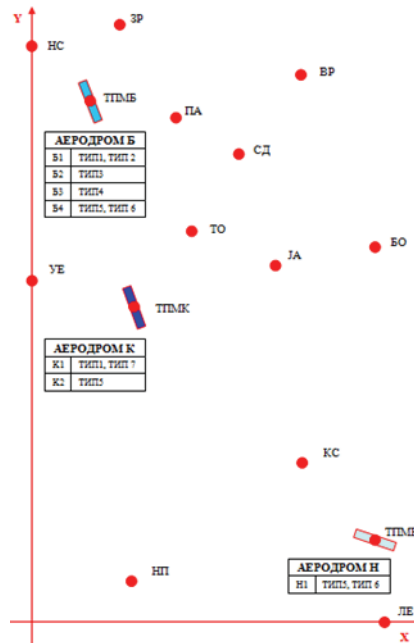
Стандардна процедура после полетања сваког ваздухоплова, са датог аеродрома полетања, јесте да се заокретом подеси за прелет тачке почетка марш-руте (ТПМ), датог аеродрома и прелети је у курсу лета по првој етапи марш-руте. Сваки од три наведена аеродрома има дефинисану своју ТПМ: Аеродром Б – ТПМБ, аеродром К – ТПМК и аеродром Н – ТПМН. ТПМ се налази у непосредној близини аеродрома полетања, сваком ваздухоплову је потребно два минута лета да после полетања прелети (долети до) ТПМ. Дужина свих марш-рута, које се планирају за реализацију летачких активности у свим летачким јединицама, се мери од ТПМ датог аеродрома полетања. Стандардна процедура сваког ваздухоплова пре слетања јесте да се после прелета ТПМ аеродрома слетања укључи у процедуру за слетање која траје два минута од прелета ТПМ аеродрома слетања до самог слетања. Време лета на свакој марш-рути се рачуна као збир времена потребних за:

- процедуру за полетање (2 минута),
- лет по марш-рути (у зависности од дужине марш-руте и брзине ваздухоплова),
- процедуру за слетање (2 минута).

Сваки појединачни лет ваздухопловом (у току планирања, припреме и реализације летачких активности) означава се јединственом кодном ознаком лета како би се разликовао од других летова. Ова кодна ознака служиће као идентификација ваздухоплова при сваком лету датог ваздухоплова. Јединствени код лета састоји се из четири целине које ближе одређују о ком ваздухоплову се ради, као на пример:

1	2	3	4
К1	ТИП1	Р4	К

Прва кодна целина састоји се из две алфанумеричке ознаке које представљају летачку јединицу у чијем саставу се налази дати ваздухоплов односно летачку јединицу која планира летачку активност за тај ваздухоплов. За ову кодну целину, у овом случају, могу се користити следеће алфанумеричке ознаке: Б1, Б2, Б3, Б4, К1, К2 и Н1. **Друга кодна целина** састоји се из четири алфанумеричке ознаке које представљају тип ваздухоплова који извршава летачку активност. За ову кодну целину, у овом случају, могу се користити следеће алфанумеричке ознаке: ТИП1, ТИП2, ТИП3, ТИП4, ТИП5, ТИП6 и ТИП7. **Трећа кодна целина** састоји се из две алфанумеричке ознаке које представљају редни број полетања ваздухоплова, у плану летења, који извршава летачку активност. За ову кодну целину, у овом случају, могу се користити следеће алфанумеричке ознаке: Р1, Р2, ... Рn (све до последњег редног броја полетања у плану летења дате летачке јединице). **Четврта кодна целина** састоји се из једне словне ознаке која представља аеродром полетања ваздухоплова у току реализације летачке активности. За ову кодну целину, у овом случају, могу се користити следеће словне ознаке: Б, К и Н. Комбинацијом кодних целина могуће је генерисати кодове за све појединачне летове ваздухоплова у свим летачким јединицама тако да се добију јединствени и недвосмислени кодови лета за дати дан планирања летачких активности. Код лета **К1ТИП1Р4К** у предходном примеру, као декодиран, у једној реченици би гласио:



Слика 1: Карта територије

4.2 Симулациони модел

Планови летења летачких јединица представљени су табелом као што је приказано на сликама 2 и 3. За сваки лет могуће је уочити која је кодна ознака лета, временска база трајања лета (представљена је пуном линијом), тачке марш-руте и висина лета по марш-рути. У базу података неопходно је унети све податке везано за планове летења а то су: код и тип ваздухоплова, време и аеродром полетања, тачке по марш-рути, аеродром слетања и висина лета по марш-рути. Симулациони модел, користећи референце из базе података, генерише силуету ваздухоплова на карти територије тачно у време и на позицији полетања за сваки предвиђени ваздухоплов. Анимацијом се приказују силуете свих активних ваздухоплова на позицијама лета по марш-рутама, а у зависности од брзине ваздухоплова. На овај начин представљена је целокупна ситуација у ваздушном простору, у симулираном времену на карти територије, као што је планирано да се одвија у реалном времену током извршења планираних летачких активности.

Ваздухоплов из састава летачке јединице К1, типа 1, под редним бројем полетања четири, полеће са аеродрома К.

4. СИМУЛАЦИЈА ПЛАНОВА ЛЕТЕЊА

4.1 Карта територије

Сектор јединственог ваздушног простора у коме се реализују планирене летачке активности јединица представљен је у координатном систему. Географске позиције аеродрома, тачки почетка марш-руте сваког аеродрома и свих прекретних орјентира дефинисане су координатама. На основу датих координата могуће је израчунати удаљеност између појединих прекретних орјентира односно дужину целокупних марш-рута по којима лете ваздухоплови. Карта територије са позицијама прекретних орјентира, на којој ће бити приказане летачке активности јединица, приказана је на слици 1.

ЛЕТАЧКА ЈЕДИНИЦА К1																	
КОД ЛЕТА	08.00	10	20	30	40	50	09.00	10	20	30	40	50	10.00	10	20	30	
К1ТИП1Р1К	полетање – ТПМК – ТО – СД – ЈА – ТПМК – слетање; X=2000 м																
К1ТИП1Р2К	полетање – ТПМК – ТО – СД – ЈА – ТПМК – слетање; X=2000 м																
К1ТИП7Р3К	полетање – ТПМК – ЈА – КС – НП – ТПМК – слетање; X=3000 м																
К1ТИП7Р4К	полетање – ТПМК – ЈА – КС – НП – ТПМК – слетање; X=3000 м																

Слика 2: План летења летачке јединице К1

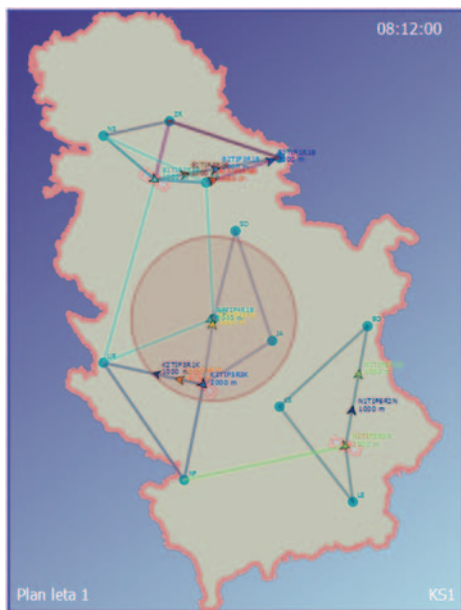
ЛЕТАЧКА ЈЕДИНИЦА Б3																	
КОД ЛЕТА	08.00	10	20	30	40	50	09.00	10	20	30	40	50	10.00	10	20	30	
Б3ТИП4Р1Б	полетање – ТПМБ – ПА – ТО – УЕ – ТПМБ – слетање; X=2000 м																
Б3ТИП4Р2Б	полетање – ТПМБ – ПА – ТО – УЕ – ТПМБ – слетање; X=2000 м																

Слика 3: План летења летачке јединице Б3

Симулациони модел је реализован у програмском језику "C++". Обзиром да је поред симулације било неопходно и анимирати положај ваздухоплова у систему као симулациона стратегија је коришћен механизам помака времена за константни прираштај [3]. Кориснички интерфејс је остварен "Qt" развојним оквиром. "Qt" се састоји од више библиотека и апликација и користи се за развој софтвера на различитим програмским платформама. Сви подаци који представљају улазне податке за симулацију су смештени у релационој бази података. Датотеци базе података, смештеној на локалном рачунару, се приступа путем "SQLite" уграђеног система за управљање базама података. Задатак симулационог модела је да уочи конфликтну ситуацију, путем анимације представи позицију и генерише извештај са подацима о конфликтним ваздухопловима.

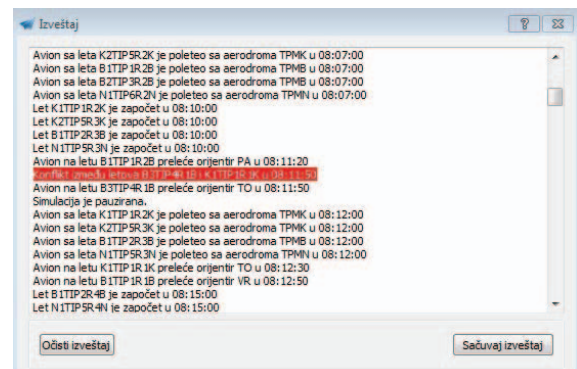
4.3 Резултати симулације

Симулацијом се прорачунавају путање и времена прелета свих прекретних орјентира и открива ваздухопловни конфликт. На крају симулираног процеса генерише се извештај симулације планова летења. У извештају се наводи који ваздухоплови су у конфликтној ситуацији те је могуће предузети кораке за њихово разрешење.



Слика 4: Визуелни приказ ваздухопловног конфликта

На слици 4 приказана је карта територије на којој се одвијају летачке активности, у току симулације, са свим активним ваздухопловима. Као резултат анимације приказују се све марш-руте током симулације, што омогућава уочавање позиција где се марш-руте преклапају. Када се током симулације појави ваздухопловни конфликт анимацијом се генерише визуелни сигнал у виду црвеног круга са центром у позицији конфликта који се концентрично шири, заједно са звучним сигналом. На слици 5 приказан је извештај о ваздухопловном конфликту као крајњи резултат симулације планова летења веће организацијске целине. Из извештаја је могуће уочити који ваздухоплови су у конфликту и у које време се то дешава.



Слика 5: Извештај о ваздухопловном конфликту

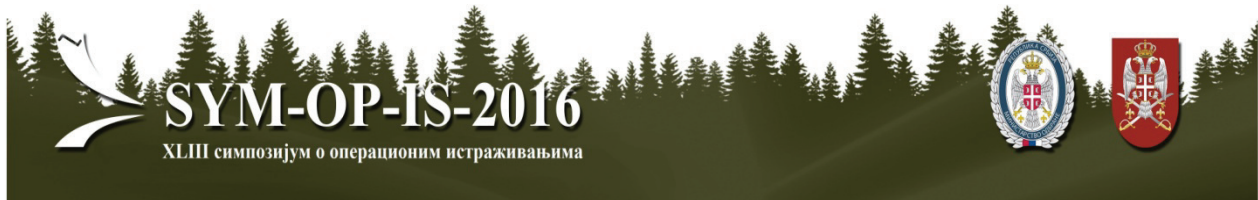
5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је представљен симулациони модел ваздухопловног конфликта. Задатак симулационог модела је да се ваздухопловни конфликт прорачуна и анимацијом визуелно представи како би се уочио у фази планирања и припреме летачких активности. Уочена конфликтна ситуација може се решити на више начина, променом параметара лета, а најчешће се примењује промена висине по марш-рути и промена времена полетања једног од конфликтних ваздухоплова. Симулација планова летења на крају генерише извештај симулације. Извештај је могуће користити за разне намене међу којима је и обука људства који су укључени у процес планирања и реализације летачких активности веће организацијске целине. Овај извештај се може користити као приказ пропуста у процесу планирања летачких активности. Овако централизован систем планирања активности, веће организацијске целине, за избегавање ваздухоплованих конфликта има низ предности током примене, а то су:

- елиминише се могућност генерисања људске грешке,
- планови летења, свих летачких јединица, су у бази података и доступни су свим летачким јединицама,
- уношењем података планова летења откривају се могући ваздухопловни конфликти,
- могући ваздухопловни конфликт се решава у току планирања дан раније у односу на почетак активности,
- олакшава се посао оперативцима који воде рачуна о планирању и реализацији летачких активности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] О. Бабић, Ф. Неђасов, Контрола летења, Саобраћајни факултет, Београд, 2011.
- [2] T. Lehouillier, J. Omer, F. Soumis, G. Desaulniers, A flexible framework for solving the air conflict detection and resolution problem using maximum cliques in a graph, Eleventh USA/EUROPE air traffic management research and development seminar (ATM2015)
- [3] Б. Раденковић, М. Станојевић, А. Марковић, Рачунарска симулација, Саобраћајни факултет, Београд, 2009.



ОПТИМИЗАЦИЈА ИНСПЕКЦИЈЕ ТОКОМ ИНСПЕКЦИЈСКОГ НАДЗОРА ОПЕРАТИВНИХ СПОСОБНОСТИ ЈЕДИНИЦА ВОЈСКЕ СРБИЈЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ РАСПОРЕЂИВАЊА

OPTIMIZATION OF INSPECTION DURING INSPECTION SUPERVISION OPERATIONAL CAPABILITIES OF THE SERBIAN ARMED FORCES USING ASSIGNED METHOD

ГОРАН РАДОВАНОВИЋ

Инспекторат одбране, Министарство одбране, Београде *e-mail: goran.radovanovic@vs.rs*

САМЕД КАРОВИЋ

Универзитет EDUCONS у Сремској Каменици, факултет са пројектни и иновациони менаџмент Београд

e-mail: karovic.samed@gmail.com

Резиме: У раду се описује процес оптимизације састава инспекције применом методе распоређивања током инспекцијског надзора оперативних способности Војске Србије. Резултати су релевантни и утврђивање вредности одређених критеријума извршено је од стране руководиоца и инспектора који спроводе инспекцијски надзор. Идентификовани критеријуми су институционализовани и са одређеним изменама користе се у стварним условима инспекцијског надзора.

Кључне речи: оперативне способности, јединице Војске Србије, инспекцијски надзор, инспектори, инспекција, метода распоређивања.

Abstract: the paper gives the description the process of the optimisation of inspection staff engagement by assigned method during the inspection supervision of the operational capabilities of Serbian Armed Forces. The results are relevant and the inspectors in charge set up the values of certain criteria. Identified criteria are institutionalized and with modifications used in real conditions.

Key words: operational capabilities, Serbian Armed Forces units, inspection supervision, inspectors, inspection, assigned method.

1. УВОД

Инспекцијски надзор у Војсци Србије представља стицање увида у стање, утврђивање достигнућа, извршених задатака и законитости рада команди и јединица ради предузимања одговарајућих организованих техничких и научних мера за подизање оперативних способности на наређени ниво.

Улазне чиниоце инспекцијског надзора оперативних способности представљају: План инспекцијског надзора, законски и нормативни оквир, инспектори, материјална средства и време. Излазну величину представља записник о извршеном инспекцијском надзору који садржи оцену утврђеног стања и преглед наложених мера. Проблем утврђивања оптималног распореда инспектора током инспекцијског надзора оперативних способности постављен је као задатак оптимизације. За решавање проблема распореда инспектора примењен је метод распоређивања.

2. ИЗБОР САСТАВА ИНСПЕКЦИЈЕ

Послове инспекцијског надзора у области одбране, самостално или у саставу инспекције, врше лица постављена на формацијска места инспектора у Инспекторату одбране. Перманентна анализа и дефинисање потребног састава за реализацију инспекцијског надзора је услов успешног обављања функције инспекцијских послова у Министарству одбране. Избор адекватне структуре и лица за извршење инспекцијског надзора оперативних способности омогућује оптимално коришћење кадра, који својим знањем, стручношћу, вештинама и искуством представљају незаменљив фактор успешности инспекцијског надзора.

У том смислу анализа сваког радног места, планирање потребних људских ресурса, избор инспектора, обука и мотивација, али и оцена успешности рада инспектора, имају изузетан значај за адекватан избор састава инспекција, припрему и извршење

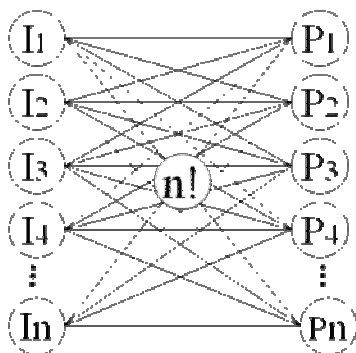
инспекцијског надзора. Одређивање састава инспекције је значајна активност у припреми инспекцијског надзора јер одређивање људских ресурса значајно утиче на планирање и извршење инспекцијског надзора. За формирање састава инспекције надлежан је главни инспектор.

Због промена у обиму и начину извршавања задатака током инспекцијског надзора, мењају се и захтеви стручне оспособљености, личне особине и вештине које се захтевају од инспектора. Зато је значајно одредити перформансе (a_{ij}) инспектора (I_i) за извршавање послова (P_j) , ради утврђивања стања у оквиру предмета инспекцијског надзора који представљају садржаји оперативних способности у складу са Правилником о елементима садржајима и стандардима за оцену њиховог стања.

3. МЕТОД РАСПОРЕЂИВАЊА

Проблем распоређивања уопштено се бави што ефикаснијом расподелом ограничених расположивих ресурса на унапред задани скуп задатака тако да буду задовољена нека ограничења. „Најбоља особа за тај посао“ представља најпогоднији опис проблема распоређивања. Ако се ефикасност мери трошковима или временом обављања посла, тада се ради о проблему минимума. Уколико се ефикасност мери резултатима рада онда се говори о проблему максимума. Шта ће представљати ресурсе, задатке и ограничења зависи од проблема који посматрамо.

Потребно је распоредити n извршилаца на n послова тако да функција критеријума оствари оптималну вредност. У општем случају задатка распоређивања [5], један посао се може доделити само једном извршиоцу односно један извршилац може извршавати само један посао. На слици 1 приказано је могуће решавање овог проблема. Применом методе распоређивања избегава се тражење оптималног решења у $n!$ допустивих решења.



Слика1: Могући распоред инспектора

Математички се метод распоређивања приказује на следећи начин. Задата је матрица трошкова:

$$A_0 = [a_{ij}^{(0)}], i, j = 1, 2, \dots, n, n \geq 3, a_{ij} \geq 0 \quad (1)$$

Табела 1: Матрица послова и извршилаца

Инспектор	Послови					
	P_1	P_2	P_3	...	P_j	P_n
I_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1j}	a_{1n}
I_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2j}	a_{2n}
I_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3j}	a_{3n}
I_{\dots}
I_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	...	a_{ij}	a_{in}
I_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nj}	a_{nn}

Потребно је пронаћи матрицу додељивања:

$$X = [x_{ij}], \text{ која задовољава следећа ограничења:} \\ x_{ij} = x_{ij}^2, i, j = 1, \dots, n; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (3)$$

При чему ϕ -ја критеријума има минималну вредност:

$$(\min) F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(0)} x_{ij} \quad (4)$$

Уколико се захтева утврђивање максималне вредности функције критеријума и уколико је почетна матрица састављена од позитивних ефеката онда је доносилац одлуке заинтересован за такав распоред ресурса који ће донети максималан ефекат.

$$(\max) F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(0)} x_{ij} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, (i = 1, \dots, n); \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, (j = 1, \dots, n); \quad (7)$$

Ако је: $M = \max \{a_{ij}; i = 1, \dots, n; j = 1 \dots n\}$ и

$$d_{ij} = M - c_{ij} \quad (8)$$

имамо проблем минимума еквивалентан проблему максимума.

4. ДЕФИНИСАЊЕ ПРОБЛЕМА

У припреми инспекцијског надзора неопходно је утврдити оптималну величину и структуру инспекције за извршење инспекцијског надзора оперативних способности. Анализа реализована током истраживања показала је да је у раду Инспектората одбране присутна стална тежња ка приближавању оптималном саставу инспекције оперативних способности. Уочено је да величина и структура инспекција за извршавање инспекцијског надзора не представљају константне величине и њен састав се не може никако типизирати или уоквирити у неку строго уређену структуру. Обим и садржај задатака који стоји пред појединим инспекцијама условљен је њиховим саставом, организационом структуром и расподелом рада између инспектора.

Методом додељивања решава се проблем распореда инспектора и утврђивање оптималног састава инспекције. Под оптимумом састава инспекције подразумева се њена величина и структура кадрова, за које се сматра да, на основу усклађености са врстом инспекцијског надзора, дефинисаним временом и расположивим средствима, наменом, задацима и кључним оперативним способностима надзираног субјекта и другим условима, на најбољи начин обезбеђују извршавање дефинисаних задатака у инспекцијском надзору оперативних способности команди и јединица Војске Србије. То подразумева алокацију људи према квалификацијама и способностима.

Елементи оцене успешности сваког инспектора, осим резултата у извршавању инспекцијског надзора, уједно су и елементи који се постављају као услови који треба да буду задовољени да би се квалитетно одговорило захтевима сваког радног места. Резултати анализе радног места представљају детаљан опис радних задатака које инспекторе очекују током вршења инспекцијског надзора. Опис радних задатака дефинисан је Упутством о унутрашњој организацији и раду Инспектората одбране, а конкретизован Стандардним оперативним процедурама.

Критичне тачке инспекцијског надзора су активности у којима током њиховог извршавања инспектор не сме чинити грешке које могу имати утицај на квалитет инспекцијског надзора. Анализа наведених критичних тачака и Стандардних оперативних процедура, као и могућности њихове реализације, уједно представљају и захтеве који се постављају пред рад сваког члана инспекције, а очекивани резултат даје основу за оцену успешности тог рада.

Промене оперативних способности надзираних субјеката су сталне, па је потребно и да се активности у вези са инспекцијским надзором прилагођавају реалним и тренутним кретањима. С тим у вези, стално праћење и прилагођавање састава инспекције води ка успешности инспектора током инспекцијског надзора оперативних способности. У досадашњој пракси су се

као критеријуми за оцењивање перформанси инспектора најчешће користили квалитет, квантитет, поштовање временских рокова, трошкова ефикасност, потреба за контролом и усмеравањем рада и интерперсонални утицај.

Сталним праћењем, вредновањем и усмеравањем перформанси запослених остварени су значајни ефекти у погледу повећања мотивације инспектора и планирања њиховог ангажовања током инспекцијског надзора. У том смислу сваки од инспектора тачно зна шта се од њега очекује, какве је резултате остварио. Са друге стране руководиоцу инспекција се обезбеђују повратне информације о радним ефектима, на основу којих он доноси одлуке о даљем усмеравању људских ресурса у процесу припреме и извршења инспекцијског надзора.

5. РЕШЕЊЕ ПРОБЛЕМА

За утврђивање перформанси инспектора по садржајима оперативних способности у инспекцијском надзору Војске Србије коришћени су подаци прикупљени од стране Инспектората одбране. У табели 2 приказане су усаглашене процене аутора и руководиоца инспекција оперативних способности у погледу перформанси појединих инспектора за реализацију инспекцијског надзора по различитим садржајима у оквиру истог елемента оперативних способности.

Табела 2: Преглед перформанси инспектора

Инспектор	Послови					
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
I ₁	8	10	7	6	7	9
I ₂	8	9	7	9	7	4
I ₃	6	7	9	5	8	7
I ₄	9	6	8	8	5	7
I ₅	7	5	4	9	7	8
I ₆	5	4	8	7	9	7

На основу перформанси инспектора приказаних у табели 2 формирана је матрица (слика 2) која показује ефекте које остварује *i*-ти инспектор на *j*-послу. Потребно је наћи оптимално решење и одредити вредност ефекта ангажовања инспектора.

$$\begin{bmatrix} 8 & 10 & 7 & 6 & 7 & 9 \\ 8 & 9 & 7 & 9 & 7 & 4 \\ 6 & 7 & 9 & 5 & 8 & 7 \\ 9 & 6 & 8 & 8 & 5 & 7 \\ 7 & 5 & 4 & 9 & 7 & 8 \\ 5 & 4 & 8 & 7 & 9 & 7 \end{bmatrix}$$

Слика 2: Матрица ефеката инспектора

Обзиром да се ради о проблему утврђивања максимума, трансформацијом почетне матрице добија се редукована матрица (слика 3) па се проблем решава као проблем минимума.

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 & 4 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 & 1 & 3 & 6 \\ 4 & 3 & 1 & 5 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & 2 & 2 & 5 & 3 \\ 3 & 5 & 6 & 1 & 3 & 2 \\ 5 & 6 & 2 & 3 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

Слика 3: Редукована матрица

Утврђивањем минимума по редовима, „Мађарском“ методом добија се матрица A_1 (слика 4) са нултим елементима по редовима.

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 & 4 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 2 & 5 \\ 3 & 2 & 0 & 4 & 1 & 2 \\ 0 & 3 & 1 & 1 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 5 & 0 & 2 & 1 \\ 4 & 5 & 1 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Слика 4: Матрица A_1

Истим поступком по колонама добија се матрица A_2 (слика 5) са нултим елементима по колонама.

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 & 4 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 0 & 4 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 1 & 1 & 4 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 0 & 2 & 0 \\ 4 & 5 & 1 & 2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Слика 5: Матрица A_2

Након понављања поступка, могуће је добити матрицу додељивања (слика 6) која приказује распоред инспектора којим се постиже максималан ефекат њиховог ангажовања.

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 & 4 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 0 & 4 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 1 & 1 & 4 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 0 & 2 & 0 \\ 4 & 5 & 1 & 2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Слика 6: Матрица додељивања

Истраживање модела оптималног распореда чланова инспекције током инспекцијског надзора условљена је потребом унапређења рада у тој области. У табели 3 може се уочити оптималан начин ангажовања инспектора током инспекцијског надзора оперативних способности утврђен методом распоређивања чиме је на основу критеријума вредновања рада појединаца у саставу инспекције постигнут максималан ефекат.

Табела 3: Преглед оптималног распореда инспектора

Инспектор	Послови					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
I_1	8	10	7	6	7	9
I_2	8	9	7	9	7	4
I_3	6	7	9	5	8	7
I_4	9	6	8	8	5	7
I_5	7	5	4	9	7	8
I_6	5	4	8	7	9	7

На основу приказаног може се уочити да је распоред инспектора за извршење инспекцијског надзора извршен методом распоређивања на основу појединачних перформанси инспектора. Оцењивање перформанси запослених извршено је на основу организованог и континуираног праћења, вредновања, усмеравања и прилагођавања њихових резултата и радног понашања у процесу остваривања циља инспекцијског надзора у области одбране.

Имајући у виду да инспекцијски надзор оперативних способности Војске Србије комплексна активност која подразумева плански рад и прецизно схватање не само онога шта треба остварити већ и како, кад и којим средствима то постићи, овакав приступ доприноси његовој ефикасности. Како основно мерило за вредновање рада инспекција треба да буде ефикасност у циљу превентивног усклађивања поступања надзираних субјеката, примена научних метода у раду инспекција има велики значај.

6. ЗАКЉУЧАК

Анализа састава инспекције за извршење инспекцијског надзора условљена је потребом да се на бази дефинисаних садржаја и потребног времена сагледају људски ресурси који извршавају послове инспекцијског надзора. Реализацијом инспекцијских надзора у претходном периоду и анализом оспособљености и рада инспектора дошло се до сазнања да се примена модела инспекције мора базирати и на промени структуре инспекција.

Идентификовани проблем оптималног распореда инспектора током инспекцијског надзора оперативних способности јединица Војске Србије могуће је решити применом методе распоређивања линеарног програмирања.

Погодност примене методе распоређивања манифестује се у њеној прилагодљивости за решавање сличних проблема у раду организацијских целина Министарства одбране и Војске Србије посебно у њеној универзалности за решавање различитих проблема распоређивања ресурса. У наредним истраживањима требало би изградити модел и дефинисати одређене вредности перформанси које су карактеристичне у оквиру инспекцијског надзора сходно врсти јединице у којој се реализује инспекцијски надзор.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Боровић С., Милићевић М., *Збирка задатака из одабраних области Операционих истраживања*, Сектор ШОНИД, Београд, 2001.
- [2] Н.В. Kuhn, *On the origin of the Hungarian Method*, History of mathematical programming, North Holland, Amsterdam, 1991.
- [3] Hillier S. Frederic, Lieberman J. Gerald, *Introduction to operations research*, Mc Graw Education, New York, 2010.
- [4] *Правилник о раду инспектората одбране*, Службени војни лист, Београд, бр. 26, 2015.
- [5] Стојиљковић М., Вукадиновић С., *Операциона истраживања*, Војноиздавачки завод, Београд, 1984.
- [6] Taha A Hamdy, *Operation research*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA, 2007.



ПРОГНОЗА УВЕЋАЊА МАТЕМАТИЧКОГ ОЧЕКИВАЊА БРОЈА УНИШТЕНИХ ВАЗДУХОПЛОВА УГРАДЊОМ ТЕРМОВИЗИЈСКЕ КАМЕРЕ НА РАКЕТНОМ СИСТЕМУ "КУБ-М"

INCREASES FORECAST MATHEMATICAL EXPECTATIONS NUMBER DESTROYED AIRCRAFT AFTER INSTALLATION OF THERMAL IMAGING CAMERAS IN THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM "KUB – M"

ИВАН ПЕТРОВИЋ

Универзитет одбране у Београду, Београд, ivanpetrovic1977@gmail.com

МИЛАН КАНКАРАШ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, kankarash2005@yahoo.com

ИВАНА ЦВЕТКОВИЋ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, ivana.cvetkovic@gmail.com

Резиме: У раду је приказана прогноза повећања математичког очекивања броја уништених циљева након увођења у оперативну употребу термовизијске камере на ракетном систему "КУБ-М" применом методе диференције и методе регресије. Прогноза се односи на гађање ваздухоплова у условима постојања електронских ваздухопловних дејстава. Такође, у раду је одређена статистичка значајност вероватноћа уништења циљева, одређена корелација и извршено прогнозирање увећања математичког очекивања уништених ваздухоплова након уградње термовизијске камере.

Кључне речи: Противваздухопловна дејства, ваздухоплов, корелација, регресија.

Abstract: In this paper it is presented a mathematical expectation forecast to increase the number of destroyed Aircraft after installation of Thermal Imaging Cameras in the Anti-aircraft Missile System "KUB-M" applying methods of differences and regression. The Forecast is related to the shooting of the Aircraft in conditions of Air Force and Electronic Operations. Also, in the paper it is determined statistically significant probability of destroyed Aircraft, correlation between the mathematical expectations, and, it is projected increase of the mathematical expectation of destroyed Aircraft after installation of Thermal Imaging Cameras.

Keywords: Operation of Air Defence, Aircraft, Correlation, Regression.

1. УВОД

Анализом искустава из борбене употребе Ратног ваздухопловства и противваздухопловне одбране у савременим оружаним сукобима може се закључити да су дејства која изводе снаге овог вида преузела доминантну улогу у остварењу циљева оружаних сукоба [1]. Ово је последица експоненцијалног развоја средстава и система оружја која користе ове снаге и вођење сукоба у електромагнетном спектру [2]. Такође је последица потребе достизања потпуне превласти у ваздушном простору у првој фази вођења операција Ратног ваздухопловства и противваздухопловне одбране, како би се омогућило другим снагама одбране несметано извођење борбених дејстава [3]. Наведено је утицало да у савременим конвенционалним оружаним сукобима, чије су главне карактеристике асиметричност и

нелинеарност, снаге које изводе ваздухопловна и противваздухопловна дејства, пресудно утичу на ток и исход тих сукоба [4].

На основу искустава из савремених оружаних сукоба дошло се и до закључка да ракетни системи старијих технолошких генерација, у какве се убраја и ракетни систем за противваздухопловна дејства "КУБ-М", могу ефикасно (са становишта уништења циљева у ваздушном простору) и ефективно (са становишта преживљавања снага, поузданости система и флексибилности, готовости за дејство и слично) изводити дејства коришћењем пасивних сензора за откривање и праћење циљева у ваздушном простору. Ово је за последицу имало и уградњу термовизијске камере на ракетном систему за противваздухопловна дејства "КУБ-М" у процесу модернизације средстава и система противваздухопловне одбране [5].

Приликом почетне процене утицаја термовизијске камере на захват и праћење циљева у ваздушном простору реализована су тренажна гађања циљева у ваздушном простору на тренажеру 9Ф62М (условно се може рећи да се ради о лабораторијском експерименту), који омогућава обуку и проверу обучености послуге радарске станице за осматрање и навођење на ракетном систему за противваздухопловна дејства "КУБ-М". По Методском приручнику изведено је двадесет вежби у условима постојања ваздухопловних електронских дејстава усмерених на нишански радар – иницијално мерење, и двадесет вежби без електронског напада на нишански радар. Приликом поређења резултата узета је у обзир разлика у вероватноћи откривања и захвата циљева у ваздушном простору помоћу термовизијске камере у односу на укључен импулсни предајник нишанског радара. Разлика је праћена на основу чињенице да приликом рада у термовизијском режиму не постоји могућност напада у електромагнетном спектру, имајући у виду да се ради о пасивном сензору.

2. ОДРЕЂИВАЊЕ СТАТИСТИЧКЕ ЗНАЧАЈНОСТИ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ ДИФЕРЕНЦИЈЕ

У одређивању почетне процене утицаја термовизијске камере учествовало је девет послуга, које су реализовале сваку вежбу у иницијалном мерењу и након увођења експерименталног чиниоца по двадесет пута. Имајући у виду да тренажер омогућава само увежбавање откривања и праћења циља у ваздушном простору, вредност математичког очекивања уништених циљева је одређена за сваку вежбу применом следеће формуле:

$$M_g = \sum_{j=1}^m R_{pgi} \quad (1)$$

где је:

- M_g - математичко очекивање броја неутралисаних појединачних циљева,

- m - број појединачних циљева (претпоставка је да је растојање и одстојање појединачних ваздухоплова у подгрупама мање од димензија резолуционих хелија пријемника нишанског радара радарске станице за осматрање и навођење, тако да свака подгрупа ударне групе представља групни циљ),

- R_{pgi} - вероватноћа уништења појединачног i – тог циља.

Вероватноћа уништења i -тог циља са m -ракета добија се помоћу формуле:

$$R_{ig} = \sum_{j=0}^n P_j R_j \quad (2)$$

где је:

$$P_j = n! m^{-j} (1 - m^{-1})^{n-j} / j!(n-j)!$$

- вероватноћа навођења j ракета на i – ти авион,

$$R_j = 1 - (1 - R_{ig})^j$$

- вероватноћа неутралисања i – тог авиона са j ракета [6].

Математичко очекивање броја уништених циљева је одређено у складу са борбеним могућностима ракетног система за противваздухопловна дејства "КУБ-М", то јест, за гађање два циља у налету (поступно гађање циљева у ваздушном простору), где се сваки циљ гађа серијом од две ракете, односно за $m=2$ и $n=2$ (последња могућности ракетног система да гађа само један циљ у циклусу гађања – "једноканалност по циљу"). Након одређивања аритметичке средине математичког очекивања броја уништених циљева и утврђивања репрезентативности добијених резултата применом стандардне девијације, где је математичко очекивање броја уништених циљева сваке послуге за сваку вежбу посматрано као посебан члан, добијена је следећа табела методе диференције:

Табела 1: Табела диференције

Вежба (N)	Mgx	Mgy	dif	d	d ²
I	1,11	1,37	0,26	0,02	0,0003
II	1,12	1,41	0,29	0,05	0,0022
III	1,14	1,42	0,28	0,04	0,0013
IV	1,16	1,41	0,25	0,01	0,0000
V	1,17	1,43	0,26	0,02	0,0003
VI	1,18	1,45	0,27	0,03	0,0007
VII	1,19	1,45	0,26	0,02	0,0003
VIII	1,20	1,45	0,25	0,01	0,0000
IX	1,21	1,46	0,25	0,01	0,0000
X	1,23	1,47	0,24	0,00	0,0000
XI	1,24	1,48	0,24	0,00	0,0000
XII	1,25	1,49	0,24	0,00	0,0000
XIII	1,26	1,50	0,24	0,00	0,0000
XIV	1,27	1,51	0,24	0,00	0,0000
XV	1,28	1,51	0,23	-0,01	0,0002
XVI	1,30	1,52	0,22	-0,02	0,0006
XVII	1,31	1,53	0,22	-0,02	0,0006
XVIII	1,32	1,53	0,21	-0,03	0,0011
XIX	1,33	1,54	0,21	-0,03	0,0011
XX	1,34	1,55	0,21	-0,03	0,0011

- Mgx – математичко очекивање у иницијалном мерењу,

- Mgy – математичко очекивање без електронског напада на нишански радар,

- dif – разлика у математичким очекивањима (диференција),

- d – разлика између диференције и просечног повећања математичког очекивања,

$\sum dif = 4,87$ - сума диференција,

$\overline{x_{dif}} = 0,2435$ - просечна диференција (просечно повећање математичког очекивања),

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2}{N-1}} = 0,023$$

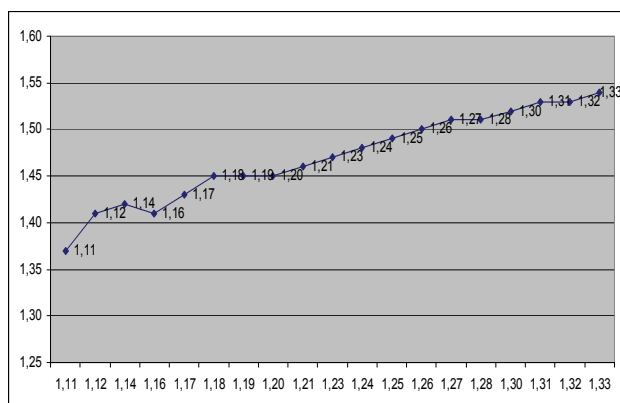
- s - стандардна грешка разлике,

$$t = \frac{\bar{x}_{dif}}{s} = 10,69 \quad (3)$$

- t - вредност значајности корелације у односу на број степена слободe.

Имајући у виду да је број степена слободe 19 ($N-1$), за границу значајности од 5%, утврђује се да је разлика статистички значајна, односно да постоји корелација између резултата добијених у иницијалном мерењу и након увођења експерименталног чиниоца (добијени $t=10,69$ је већи од граничне вредности за број степена слободe 19 који износи 2,19).

Табела диференције се може приказати и помоћу следећег дијаграма:



Слика 1: Графички приказ диференције

Вежбе су конципиране по приручнику тако да су изазвани електронски напади из зоне за нишански радар следећих врста [7]:

- електронски напад немодулисаним континуалним сметњама (вежба 1-2);
- електронски напад континуалним сметњама модулисаним по амплитуди (вежба 3-4);
- електронски напад континуалним сметњама модулисаним по фреквенцији (вежба 5-6);
- електронски напад континуалним сметњама модулисаним по амплитуди и фреквенцији (вежба 7-8);
- електронски напад импулсним асинхроним сметњама (вежба 9-10);
- електронски напад импулсним синхроним неодговарачким сметњама (вежба 11-12);
- електронски напад импулсним синхроним одговарачким једнократним сметњама по даљини (вежба 13-14);
- електронски напад импулсним синхроним одговарачким једнократним сметњама по угловима (вежба 15-16);
- електронски напад импулсним синхроним одговарачким једнократним сметњама по даљини и угловима (вежба 17-18);
- електронски напад импулсним синхроним одговарачким вишекратним сметњама (вежба 19-20).

Разлика између парних вежби (на пример вежбе 1 и 2) је у снази електронске сметње што представља имитацију врсте сметње по критеријуму фреквентног опсега на: нишанску и запречну сметњу.

3. ПРОГНОЗА УВЕЋАЊА МАТЕМАТИЧКОГ ОЧЕКИВАЊА БРОЈА УНИШТЕНИХ ЦИЉЕВА

Након одређене статистичке значајности путем методе диференције и утврђене корелације приступљено је одређивању прогнозе увећања математичког очекивања броја уништених циљева методом регресије [8].

Највероватније вредности математичког очекивања у условима вођења противваздухопловних дејстава без ваздухопловних електронских дејстава, које одговарају вредностима математичког очекивања броја уништених циљева из иницијалног мерења, одређене су помоћу правца регресије који има најмању суму квадрата појединачних резултата математичког очекивања M_{gy} . Добијене вредности приказане су у табели број 2.

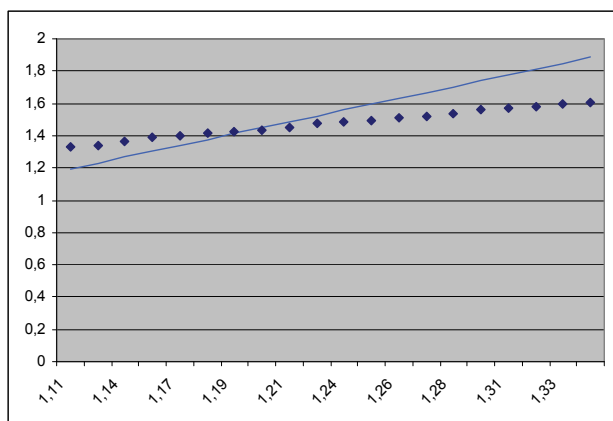
Табела 2: Табела регресије

Вежба (N)	M_{gx}^2	M_{gy}^2	$M_{gx}M_{gy}$	\tilde{M}_{gy}	$M_{gy} - \tilde{M}_{gy}$	$(M_{gy} - \tilde{M}_{gy})^2$
I	1,23	1,88	1,52	1,33	0,04	0,00177
II	1,25	1,99	1,58	1,34	0,07	0,00490
III	1,30	2,02	1,62	1,36	0,06	0,00311
IV	1,35	1,99	1,64	1,39	0,02	0,00046
V	1,37	2,04	1,67	1,4	0,03	0,00086
VI	1,39	2,10	1,71	1,41	0,04	0,00139
VII	1,42	2,10	1,73	1,42	0,03	0,00063
VIII	1,44	2,10	1,74	1,44	0,01	0,00017
IX	1,46	2,13	1,77	1,45	0,01	0,00012
X	1,51	2,16	1,81	1,47	0,00	0,00000
XI	1,54	2,19	1,84	1,49	-0,01	0,00000
XII	1,56	2,22	1,86	1,5	-0,01	0,00000
XIII	1,59	2,25	1,89	1,51	-0,01	0,00000
XIV	1,61	2,28	1,92	1,52	-0,01	0,00014
XV	1,64	2,28	1,93	1,53	-0,02	0,00058
XVI	1,69	2,31	1,98	1,56	-0,04	0,00146
XVII	1,72	2,34	2,00	1,57	-0,04	0,00163
XVIII	1,74	2,34	2,02	1,58	-0,05	0,00276
XIX	1,77	2,37	2,05	1,59	-0,05	0,00299
XX	1,80	2,40	2,08	1,61	-0,06	0,00322
Σ	30,38	43,50	36,34	29,48	0,00	0,02618

- \tilde{M}_{gy} - процењено, то јест регресијско увећање математичког очекивања,

На основу резултата из табеле број 2 одређен је правац регресије, помоћу којег су одређене највероватније вредности математичког очекивања броја уништених циљева M_{gy} за сваку вредност M_{gx} .

Правац регресије је приказан графички на слици број 2.



Слика 2: Правац регресије

Правац регресије одређен је помоћу следеће формуле:

$$\tilde{M}_{gy} = a + bM_{gx} \quad (4)$$

где је:

$$b = \frac{N \sum M_{gx} M_{gy} - (\sum M_{gx})(\sum M_{gy})}{N \sum M_{gx}^2 - (\sum M_{gx})^2} = 1,21$$

- b – нагиб правца регресије,

$$a = \bar{M}_{gy} - b\bar{M}_{gx} = -0,017$$

- a – одсечак на x -оси (константна вредност) у једначини правца регресије,

$$\tilde{M}_{gy} = -0,017 + 1,21M_{gx}$$

- једначина правца регресије.

Стандардна грешка прогнозе једнака је:

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (M_{gy} - \tilde{M}_{gy})^2}{N - 2}} = 0,038 \quad (5)$$

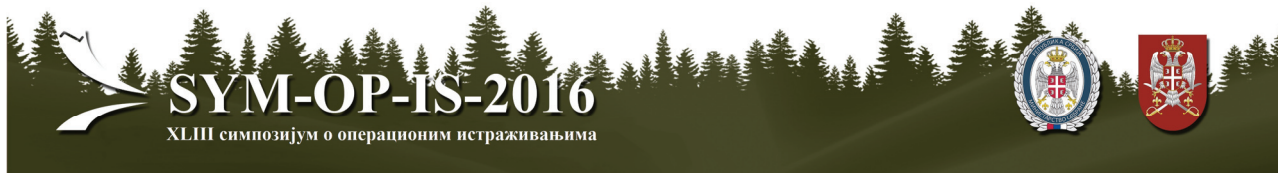
Имајући у виду стандардну грешку прогнозе, која је израчуната по формули број 5 и која износи 0,038, може се закључити да постоји "хомосцедасцитет" између резултата M_{gx} и M_{gy} , чиме се потврђује висок степен линеарне зависности између ових величина и могућност примене наведене методе (68% резултата варира за $\pm 0,038$ око вредности \tilde{M}_{gy} , односно 95% резултата варира за $\pm 0,076$ око вредности \tilde{M}_{gy}).

4. ЗАКЉУЧАК

Процес модернизације је неопходан како би се продужио животни век система и средстава противваздухопловне одбране старијих технолошких генерација. На основу иницијалног мерења и мерења након увођења експерименталног чиниоца уочена је корелација између резултата мерења, која може указати на значај увођења термовизијске камере у радарску станицу ракетног система за противваздухопловна дејства "КУБ-М". Правац регресије је указао на значајно повећање ефикасности по критеријуму математичког очекивања броја уништених циљева, чиме је прогнозирано повећање ватрених могућности ракетног система за противваздухопловна дејства након завршетка процеса увођења термовизије у оперативну употребу на ракетном систему "КУБ-М". Прогноза је да се непријатељева ваздухоплова у зависности од врсте електронског напада повећава у дијапазону од 0,21 до 0,29, што представља просечно повећање уништених циљева за 19,51%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гордић, М., Цветковић, К., и И. Петровић, "Утицај ваздухопловних и противваздухопловних дејстава на физиономију вођења савремених оружаних сукоба", *Војно дело* 65(2) (2013) 228-247.
- [2] *Анализа НАТО агресије на СРЈ*, радни материјал, ВВА Жуковски, Руска Федерација, 2008.
- [3] Petrović, I., Kankaraš, M., i K. Cvetković, "Significance and Prospects of the Development of Air Defence System", *Vojno delo* 67(6) (2015) 86-98.
- [4] Петровић, И., Цветковић, К., и З. Стојиљковић, "Теоријско одређење ваздухопловних и противваздухопловних дејстава", *Војно дело* 66(4) (2015) 222-239.
- [5] Гордић, М., и И. Петровић, *Ракетни системи у одбрани малих држава*, МЦ "Одбрана", Београд, 2014.
- [6] *Математичко моделовање борбених дејстава*, радни материјал, ВВА Жуковски, Руска Федерација, 2014.
- [7] *Теорија и правила гађања ракетним системом противваздухопловне одбране "КУБ-М"*, ССНО, Београд, 1980.
- [8] Ацић, Н., *Статистика*, Центар за математику и статистику ФТН, Нови Сад, 2006.



ЕЛЕКТРИЧНА БЕСПИЛОТНА ЛЕТЕЛИЦА - ОДРЕЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА ОПТИМАЛНЕ ЕЛИСЕ

ELECTRICAL UMANNED AERIAL VEHICLE - PARAMETERS DETERMINATION OF OPTIMAL PROPELLER

КОСТА ВЕЛИМИРОВИЋ

Војнотехнички институт, Ратка Ресановића 1, 11000 Београд kolevelimirovic@yahoo.com

ЉИЉАНА ГАЈИЋ-КРСТАЈИЋ

Институт техничких наука САНУ, Кнез Михајлова 35, 11000 Београд gaja@tmf.bg.ac.rs

НЕМАЊА ВЕЛИМИРОВИЋ

Југоимпорт-СДПР, Београд, Булевар уметности 2, 11000 Београд nemanjavelimirovic@yahoo.com

Резиме: Електрична беспилотна летелица - у раду је приказан метод одређивања параметара оптималне елисе летелице. Модел ограниченог кретања летелице је описан системом нелинеарних диференцијалних једначина. Коришћена метода при прорачуну профила лета је метода тоталне енергије. Коришћењем метода нелинеарног програмирања одређени су параметри оптималне елисе. Поступак је рачунарски имплементиран. Оптимизације и резултати илустровани су нумеричким примером.

Кључне речи: Беспилотна летелица, Елиса, Профил лета, Перформансе, Гориве ћелије

Abstract: Electrical Unmanned Aerial Vehicle - the method of multiobjective optimization of propeller parameters is presented in this paper. The model of the aerial vehicle constrained of motion is given by the set of the non-linear differential equations. The range parameters is done by using the method of total energy. Using the methods of nonlinear programming the parameters of the optimal propeller are determined. The procedure is being implemented by computer. The optimization procedure and the method results are illustrated by the numerical example.

Keywords: Unmanned aerial vehicles, Propeller, Range, Performances, Fuel cell,

1. УВОД

Беспилотна летелица (слика 1.) је даљински управљен летећи робот са аутоматским управљањем који се користи као платформа за ношење специфичног "корисног терета" као што су камере, сензори, комуникациона или нека друга опрема. Развијене земље училе су изразиту исплативост коришћења беспилотних летелица у односу на друга средства као што су: осматрачки авиони, хеликоптери, балони или сателити. За потребе осматрања терена великих површина потребно је располагати поузданим беспилотним летелицама високих перформанси у погледу долета и истрајности лета. При пројектовању посебна пажња се посвећује летним перформансама: лансирању - пењању, истрајности лета и крстарењу.

Задатак побољшања летних карактеристика беспилотне електричне летелице када су геометрија и аеродинамичке карактеристике "залеђене", мотор и батерија најбољи по карактеристикама (а и доступни на тржишту) своди се на покушај избора оптималне елисе.

Елисе за беспилотне летелице "раде" на малим Reynolds-овим бројевима (за пресек крака - аеропрофил на 0.75 полупречника) од 50000 до 100000 тако да

су им карактеристике драматично деградирани. Узрок деградације коефицијента корисности елисе на малим Reynolds-овим бројевима је доминантно вискозно струјање око локалних аеропрофила што има за последицу повећан коефицијент трења. Коефицијент трења са повећањем Reynolds-овог броја опада [3][4]. Максимални коефицијент корисности код ових елиса креће се у дијапазону од 0.6 до 0.28 што је далеко неповољније у односу на елисе класичних авиона где је коефицијент корисности око 0.85[1][2]. У циљу побољшања летних перформанси мале електричне беспилотне летелице посебну пажњу треба посветити избору елисе. У раду су приказани поступак и резултати одређивања параметара оптималне елисе методом нелинеарног програмирања. Независне променљиве су пречник и корак елисе. Функција циља је максимална истрајност профила лета а ограничења прилазе из довољног пењања при лансирању и статичке вучне силе [5][6] [7][8]. За прорачун коришћен је раније развијен рачунарски програм "ВРАБАЦПЕРФ". Програмски језик је Mathcad 14.

За одређивање летних перформанси мале електричне беспилотне летелице потребно је познавати поред

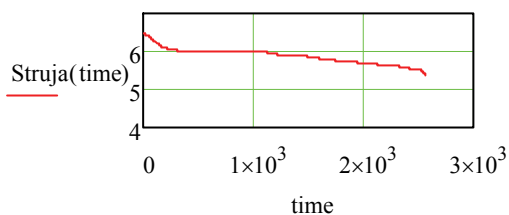
аеродинамичких карактеристика, батерију, мотор и уграђену елису.



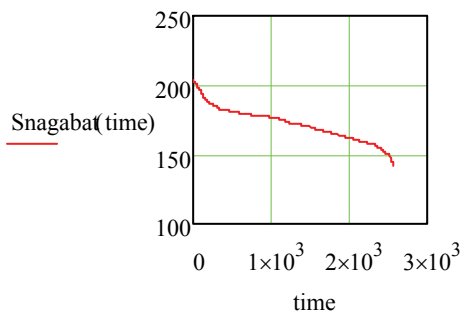
Слика 1. Разматрана електрична беспилотна летелица (маса $m=8.5$ kg, размах крила $b=2.8$ m, дужина летелице $L=1.94$ m, висина $H=0.47$ m, површина крила $S=0.75$ m², маса "корисног" терета 1.5 kg) са земаљском станицом

2. БАТЕРИЈА

За пропулзију и опрему летелице користи се Li-Po батерија номиналног напона $U=29.6$ V и декларисаног капацитета 8 Ah. Урађено је лабораториско испитивање (контролисаним пражњењем до граничног дозвољеног напона $U=26.4$ V) већ коришћене батерије и констатовано да батерија поседује расположиву енергију $E=122.86$ Wh (слика 2., слика 3., слика 4.) [7][9].



Слика 2: Дијаграм струје пражњења (A) у функцији времена time (s)



Слика 3: Дијаграм снаге при пражњењу (W) у функцији времена time (s)



Слика 4: Испитивање батерије

3. МОТОР



Слика 5: Електрични једносмерни мотор За пропулзију, летелица је опремљена електричним једносмерним (без четкица) мотором (слика 5.) чије су мехатроничке карактеристике одређене теоретским прорачуном и лабораторијским испитивањем

4. ЕЛИСА

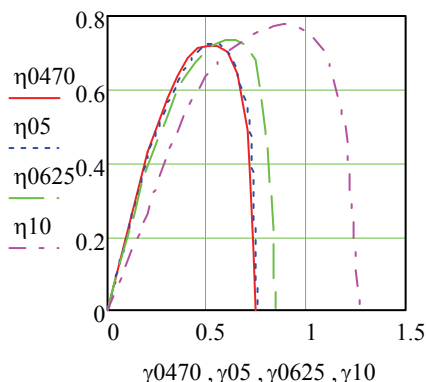
Корекцијом коефицијента минималног отпора локалних аеропрофила због малих Reynolds-ових бројева одређене су теоретске аеродинамичке карактеристике фамилије погодних елиса. У циљу потврде добијених резултата извршено је експериментално испитивање вучне силе склопа мотор - елиса у статичким условима за три на тржишту доступне елисе различитих корака (слика 6.). Резултати прорачуна и испитивања су показали солидно поклапање.



Слика 6: Испитивање статичке вучне силе - склоп мотор - елиса (двокрака, склапајућа)

5. НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР

Одређивање параметара оптимане елисе започето је нумеричким пресликавањем аеродинамичких коефицијената серије елиса за велике Reynolds-ове бројеве (слика 7.) у одговарајуће коефицијенте при малим Reynolds-овим бројевима.



Слика 7: Коэффициент корисности серије елиса (велики Reynolds-ови бројеви) η у функцији коефицијента рада $\gamma=V/nD$ за релативне кораке $H/D=0.47, 0.5, 0.625, 1.0$

Познавајући аеродинамичке коефицијенте серије елиса за мале Reynolds-ове бројеве могу се одредити летне карактеристике беспилотне летелице. Потпуним

полиномом другог реда описане су зависности летних карактеристика од независних променљивих: пречника елисе D и корака H .

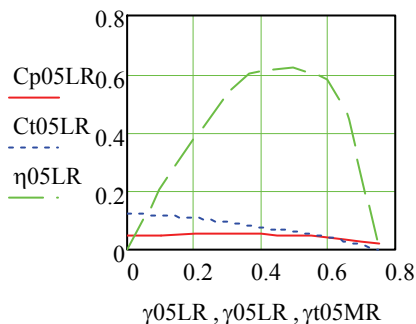
Функција циља, чији се максимум одређује, је истрајност (трајање) профила лета t_{prof} (слика 9.) [8][10][11]. Функција циља је такође дефинисана потпуним полиномом у зависности од два параметра: пречника елисе и корака.

$$Max t_{prof}(D, H) = ?$$

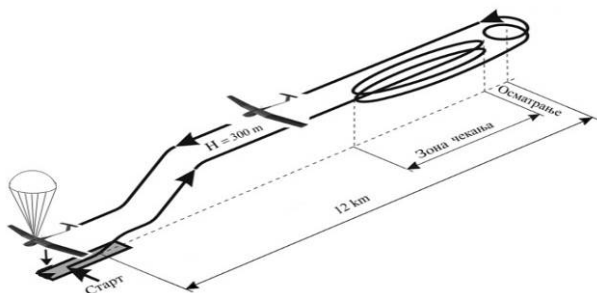
$$0.4 \text{ m} \leq D \leq 0.44 \text{ m}$$

$$0.2 \text{ m} \leq H \leq 0.26 \text{ m}$$

Поред примарних, која се односе на пречник и корак елисе у поступку оптимизације, унесена су и секундарна ограничења: брзина пењања летелице w на висини $h=0 \text{ m}$ мора бити већа од 6.0 m/s а статичка вучна сила T_{stat} од 40.0 N . Коришћењем рутине за нелинеарно програмирање (градијентна метода) које пружа програмски језик MATHCAD 14 и имајући у виду расположиве могућности куповине на тржишту одређени су параметри оптималне елисе: $D=0.4064 \text{ m}$ (16 incha) $H = 0.2032 \text{ m}$ (8 incha) а максимум функције циља је $Max t_{prof} = 34.9 \text{ min.}$ (слика 8.)

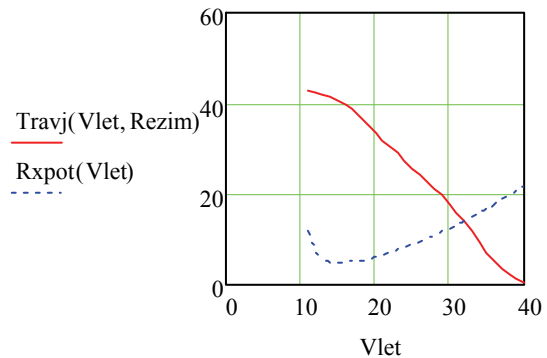


Слика 8. Оптимална елиса: коефицијент снаге C_p , коефицијент силе C_t и коефицијент корисности η у функцији коефицијенза рада γ

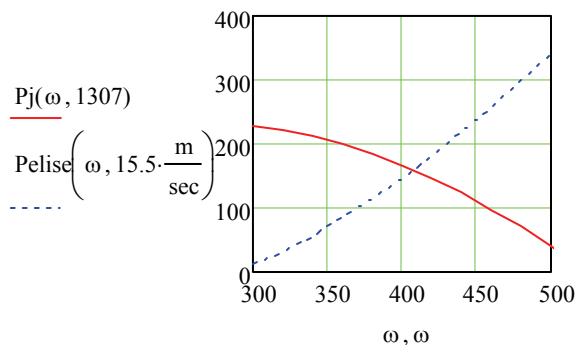


Слика 9. Електрична мала беспилотна летелица, профил лета

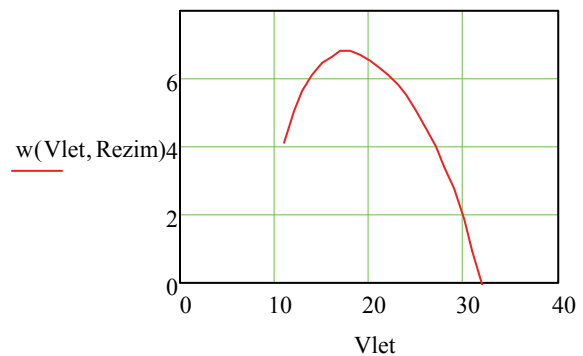
Значајнији резултати прорачуна (добити коришћењем програма "ВРАБАЦПЕРФ") летних карактеристика мале електричне беспилотне летелице за оптималну елису приказани су дијаграмски (слика 10., слика 11., слика 12.).



Слика 10. Вучна сила T (N) за максимални режим рада мотора и сила отпора R_x (N) у функцији брзине лета V_{let} (m/s)



Слика 11. Снага мотора P (W) при крстарењу и апсорбована снага елисе P_{elise} (W) за брзину крстарења $V=15.5 \text{ m/s}$ у функцији угаоне брзине мотора ω (rad/s)



Слика 12. Специфичан вишак снаге - брзина пењања w (m/s) у функцији брзине лета V_{leta} (m/s), режим рада мотора максималан

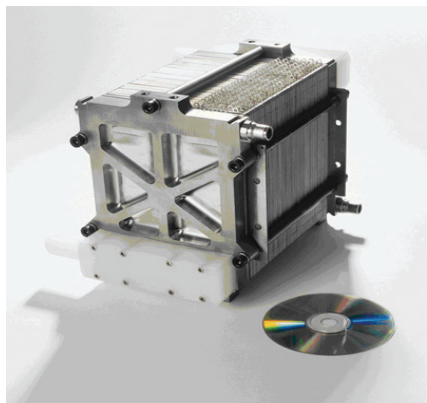
6. ЗАКЉУЧАК И КОМЕНТАР

У раду је приказан поступак одређивања оптималних параметара елисе мале електричне беспилотне летелице методом нелинеарног програмирања. Функција циља чији се максимум одређује је истрајност (трајање) профила лета а ограничења се односе на дозвољени дијапазон промене пречника и корака елисе, специфични вишак снаге и статичку вучну силу.

Прорачун профила лета подразумева апсолутно мирну атмосферу без "термика" односно додатне енергије струјања из атмосфере које повећавају истрајност и долет. У практичном лету може се очекивати већа истрајност и долет јер летелица има крило велике вит-

кости и генерално мали отпор (и елиса је склопљива) па је погодна за режим "једрења" који аутопилот летелице може да подеси.

Могућност повећања истрајности и долета беспилотне летелице у изузетним ситуацијама може се наћи и у пражњењу батерије испод дозвољеног напона од $U=26.4\text{ V}$. Овакво пражњење батерије испод дозвољеног напона нешто повећава истрајност али трајно оштећује батерију и смањује број циклуса пуњења.



Слика 12. Водонична горива ћелија

Жеља за повећањем истрајности и долета може се остварити и заменом постојеће Li-Po батерије погодном комбинацијом мање Li-Po батерије и горивих ћелија. Гориве ћелије су изузетно ефикасан извор електричне енергије која се добија из водоника. Степен корисности горивих ћелија је висок (0.6) тако да се (уз велику "густину енергије" коју омогућује водоник под притиском) истрајност и долет беспилотне летелице могу повећати вишеструко.

Аутори изражавају велику захвалност колегицима и колегама из Војнотехничког института на сугестијама и стручној помоћи током израде рада.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Rendulić Z. *Mehanika leta*, Vojnoizdavački i Novinski Centar, Belgrade, Serbia. 1987

- [2] Smetana F. *Flight vehicle performance and aerodynamic*, AIAA Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 2003.
- [3] John B. Brandt and Michael S. Selig, Propeller Performance Data at Low Reynolds Numbers, 49. AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando FL, 2011
- [4] Merchant, M.P., *Propeller Performance Measurements for Low Reynolds Number UAV Applications*, Master thesis, Department of Aerospace Engineering, Wichita State University, Kansas 2005
- [5] Velimirović K., Velimirović N., "Određivanje maksimalnog taktičkog radijusa klipno-elisne беспилотне летелице, program BELI ORAO", SYM-OP-IS-2011, Tara, Serbia 2011.
- [6] Velimirović K., "Taktička беспилотна летелица са клипно-елисном погонском групом: прораčун перформанси лета", monografija, Military Technical Institute, Belgrade, Serbia, 2013.
- [7] Велимировић, К., Гајић-Крстајић Љ., Велимировић Н. "Неке предности водоничних горивих ћелија у односу на литијум-полимер акумулаторе за пропулзију мини беспилотне летелице", XIII YUCORR International Conference, Book of Abstracts, p49, april 2011, Tara, Srbija
- [8] Велимировић, К., Велимировић Н. "Tactical unmanned aerial vehicle Pegasus as a platform to carry missiles" OTEX 2011, Војнотехнички институт, Београд
- [9] Велимировић, К., Гајић-Крстајић Љ., Велимировић Н. "Propulsion of unmanned aerial vehicles - comparison of lithium-ion cobalt and lithium-ion iron phosphate batteries" XIV YUCORR International Conference, 2012, Tara, Srbija
- [10] Велимировић, К., Велимировић Н. "Tactical UAV Pegasus with in flight adjustable propeller, computer program WHITE EAGLE" OTEX 2012, Војнотехнички институт, Београд
- [11] Велимировић, К., Велимировић Н. "Determining the optimal propeller parameters for piston-engine unmanned aerial vehicle", SYM-OP-IS 2012



ПРОЦЕНА СПОСОБНОСТИ СИСТЕМА ОДБРАНЕ DEFENCE CAPABILITY ASSESSMENT

МИЛАН КАНКАРАШ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, kankaras.milan@outlook.com

ИВАН ПЕТРОВИЋ

Универзитет одбране, Београд, ivanpetrovic1977@gmail.com

СРЂАН ДИМИЋ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs

Резиме: Општи циљ и смисао постојања и функционисања система одбране јесте остваривање и стално унапређивање одбрамбених интереса. Претпоставка остварења општег циља и испуњења очекивања, односно смисла постојања система одбране јесу способности система одбране. Потребне способности система одбране за одређени период одређују се у процесу дугорочног планирања развоја. У том процесу, између осталог, пореде се потребне и постојеће способности – процена способности – ради утврђивања недостатака и мера које је потребно предузети ради отклањања уочених недостатака. Процена способности је сложен и одговоран процес у којем планери теже да објективно утврде разлике у способностима, а ради адекватног развоја система одбране. У раду је приказана могућност објективног приступа процени способности и утврђивања разлике у способностима, а конкретна решења представљају резултате до којих се дошло у току истраживања, као и визију аутора.

Кључне речи: планирање развоја, способности, систем одбране, релативна тежина.

Abstract: The overall objective of the meaning of existence and functioning of the defence system is to create and constantly improving the defence interests. The prerequisite to achieve the overall objective and fulfilling expectations and the meaning of existence of the defence system are the defence capabilities. The required defence capabilities for a certain period are determined in the process of long-term planning development. In this process, inter alia, are compared the required and current defence capabilities – capability assessment - to identify the capability mismatches and measures to be taken to rectify the identified mismatches. Capability assessment is a complex and responsible process and defence planners try to objectively determine the mismatches and enable adequate development of the defence system. This paper presents the possibility of an objective approach to assessing the defence capabilities and identifies capability mismatches. Specific solutions are the results that were obtained during the research, as well as the vision of the author.

Keywords: development planning, capabilities, defence, weights.

1. УВОД

Савремене државе суочавају се са бројним изазовима, ризицима и претњама безбедности. Успешно супротстављање тим изазовима, ризицима и претњама директно зависи од способности система одбране.

Потребне способности система одбране одређују се у процесу планирања развоја система одбране и значајно утичу на будућу организацију и функционисање система одбране. Поред потребних способности потребно је утврдити и разлику између потребних и постојећих способности, као и решења за отклањање уочених разлика у способностима.

Утврђивање разлике у способностима карактерише одређени ниво субјективности. Одговорно руководство система одбране покушава да ту субјективност сведе на најнижи могући ниво и објективно изврши процену способности.

Од резултата процене способности зависе и могућа решења уочених недостатака, односно разлике у способностима. У том смислу, значајно је утврђену разлику у способностима квантификовати у мери у којој је то могуће.

Квантификовање утврђене разлике у способностима подразумева одређивање нивоа те разлике, а поступак квантификације спроводи се по одређеној процедури.

2. МЕСТО И УЛОГА ПРОЦЕНЕ СПОСОБНОСТИ У ПРОЦЕСУ ПЛАНИРАЊА РАЗВОЈА СИСТЕМА ОДБРАНЕ

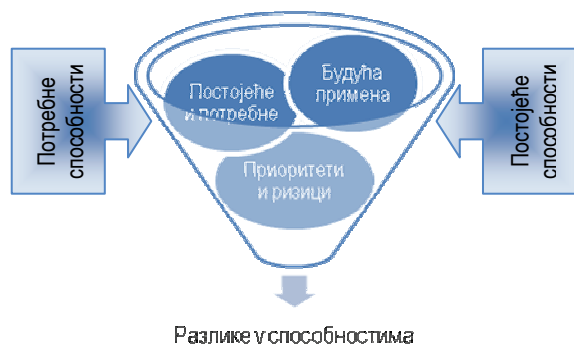
Планирање развоја система одбране (у даљем тексту: планирање развоја) представља процес одређивања циљева развоја система одбране и начина њиховог остварења [1]. Резултат процеса планирања развоја система јесу документи планирања развоја [2].

Постоји више различитих приступа планирању развоја који су развијени за конкретне потребе одбране или су преузети из комерцијалног сектора. Један од најчешће примењиваних приступа јесте приступ заснован на способностима. Процес планирања развоја система одбране заснован на способностима садржи осам фаза [3]:

- разматрање политичких смерница;
- процена окружења;
- анализа мисија;
- развој сценарија;
- одређивање потребних способности;
- **процена способности;**
- развој опција и
- избор решења.

Приказани редослед фаза процеса планирања развоја система одбране је услован јер није могуће јасно раздвојити завршетак једне и почетак друге фазе. Поједине фазе процеса врло често се реализују истовремено.

Процена способности јесте фаза планирања развоја у којој се утврђује у којој мери постојеће способности одговарају будућим потребама. Ова фаза омогућава утврђивање разлика у способностима које је потребно решити и указује на временски оквир у којем су та решења потребна. Такође, у овој фази планирања развоја утврђују се приоритети и идентификују способности где је могуће прихватити ризик. Резултат процене способности јесте утврђена разлика у способностима (слика 1).



Слика 1: Процена способности

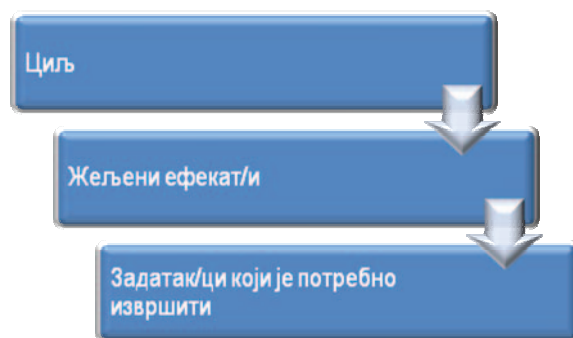
Постоје четири могућа исхода приликом утврђивања разлике у способностима:

- вишак способности (систем одбране поседује конкретну способност/и у већој количини од потребне);
- мањак способности (систем одбране поседује конкретну способност/и у мањој количини од потребне);
- недостатак способности (систем одбране не поседује конкретну способност/и) и
- довољно способности (систем одбране поседује конкретну способност у довољној количини).

С тим у вези, а ради реализовања процеса планирања развоја, потребно је што тачније утврдити разлику између потребних и постојећих способности. Такође, пожељно је утврђену разлику квантификовати у мери у којој је то могуће, односно утврдити ниво усклађености потребних и постојећих способности система одбране.

3. НИВО УСКЛАЂЕНОСТИ ПОТРЕБНИХ И ПОСТОЈЕЋИХ СПОСОБНОСТИ

Способност *представља могућност и капацитет за извршавање задатака и постизање жељених ефеката под специфичним стандардима и условима, а ради остварења дефинисаних циљева* [4]. Као што се види, између циљева, ефеката и задатака постоји узрочно-последични однос. Од дефинисаних циљева зависе жељени ефекти, а од жељених ефеката зависе задаци, односно на основу жељених ефеката одређују се задаци које је потребно извршити ради постизања жељених ефеката (слика 2). Такође, од извршених задатака зависи постизање жељених ефеката, а од постигнутих ефеката зависи и остварење циљева.



Слика 2: Узрочно-последични однос циљева, ефеката и задатака

С тим у вези, а ради утврђивања разлике у способностима, потребно је утврдити разлику између потребних и постојећих могућности и капацитета за извршавање задатака и постизање жељених ефеката. Приликом утврђивања разлике у способностима потребно је имати у виду и различите међусобне односе између циљева, ефеката и задатака (са једном способношћу могуће је постићи један или више ефеката, за постизање ефеката потребно је извршити један или више задатака и слично).

С обзиром на ограничен обим рада разматран је само један од могућих међусобних односа (табела 1).

Табела 1: Поређење потребних и постојећих могућности и капацитета

Способност	Жељени ефекат	Задаци које је потребно извршити	Потребне могућности и капацитети (ПМК)	Постојеће могућности и капацитети (ТМК)
Способност А	Ефекат А1	Задатак А11	ПМК А11	ТМК А11
		Задатак А12	ПМК А12	ТМК А12
	Ефекат А2	Задатак А21	ПМК А21	ТМК А21
		Задатак А22	ПМК А22	ТМК А22
		Задатак А23	ПМК А23	ТМК А23
		Задатак А24	ПМК А24	ТМК А24

Могућности и капацитете потребно је упоредити за сваку појединачну способност као што је приказано у табели 1. Значајно је истаћи да задацима немају исти ниво значајности за постизање жељених ефеката, као ни да жељени ефекти немају исти ниво значајности за постизање постављених циљева.

С обзиром на то да један систем одбране има бројне способности, утврђивање усклађености потребних и постојећих способности је сложен и одговоран процес. Ниво усклађености потребних и постојећих способности може се утврдити у четири корака:

- утврђивање нивоа усклађености потребних и постојећих могућности за извршавање сваког појединачног задатака;
- одређивање нивоа значајности сваког појединачног задатка за постизање жељених ефеката и нивоа значајности жељених ефеката за постизање постављених циљева;
- утврђивање нивоа усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за постизање жељених ефеката и
- утврђивање нивоа усклађености потребне и постојеће способности за постизање жељених ефеката и извршавање задатака.

Ниво усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за извршавање појединачног задатка представља проценат тренутних у односу на потребне могућности и капацитете (израз 1).

$$NUZ_i = \frac{TMK_i}{PMK_i} * 100, i = 1, \dots, n \quad (1)$$

где је:

NUZ_i – ниво усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за извршавање задатка;
 TMK_i – тренутне могућности и капацитети за извршавање задатка и
 PMK_i – потребне могућности и капацитети за извршавање задатка.

Као што је речено, задаци немају исти ниво значајности за постизање жељених ефеката, а жељени ефекти немају исти ниво значајности за постизање постављених циљева. С тим у вези, ниво значајности појединачних задатака и жељених ефеката утврђује се у другом кораку. Ниво значајности изражава се релативним тежинама задатака/ефеката.

За одређивање релативних тежина могу се применити различите методе, а једна од често примењиваних метода јесте метода аналитичких хијерархијских процеса. Поступак одређивања релативних тежина обухвата поређење задатака/ефеката у паровима (почетна матрица), нормализовање елемената почетне матрице (нормализована матрица) и одређивање аритметичке средине редова нормализоване матрице (релативна тежина задатака/ефеката).

Елементи нормализоване матрице и аритметичка средина редова нормализоване матрице израчунавају се на основу израза 2 и 3 [5].

$$a'_i = \frac{a_{ij}}{\sum_j a_{ij}}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (2)$$

где је:

a'_i – елемент нормализоване матрице и
 a_{ij} – елемент почетне матрице.

и

$$w_i = a'_i, i = 1, \dots, n \quad (3)$$

где је:

w_i – релативна тежина задатка/ефекта и
 a'_i – елемент нормализоване матрице.

У трећем кораку одређује се ниво усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за постизање жељених ефеката. Тај ниво се може изразити као сума производа нивоа усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за извршавање сваког појединачног задатка потребног за постизање жељеног ефекта и релативне тежине појединачних задатака (израз 4).

$$NUE_i = \sum NUZ_i * w_i, i = 1, \dots, n \quad (4)$$

где је:

NUE_i – ниво усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за постизање жељеног ефекта.

Последњи корак подразумева утврђивање нивоа усклађености потребних и постојећих способности за постизање жељених ефеката и извршавање потребних задатака. Ниво усклађености потребне и постојеће способности представља суму производа нивоа

усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за постизање жељених ефекта и релативне тежине ефеката (израз 5).

$$NUS_i = \sum NUE_i * w_i, i = 1, \dots, n \quad (5)$$

где је:

NUS_i – ниво усклађености потребне и постојеће способности.

Квантификовање разлике у способностима, односно утврђивање нивоа усклађености потребних и постојећих способности омогућава објективно утврђивање одступања и утврђивање опција за развој потребних способности.

4. ПРОЦЕНА НИВОА СПОСОБНОСТИ

У раду је разматрано квантификовање разлике у способностима на примеру способности А приказане у табели 1. На основу података датих у табели 1 и применом израза 1 утврђен је ниво усклађености потребне и постојеће способности, а резултати су приказани у табели 2.

Табела 2: Ниво усклађености потребне и постојеће способности по чиниоцима способности

Способност	Жељени ефекат	Задаци које је потребно извршити	Потребне могућности и капацитети (ПМК)	Постојеће могућности и капацитети (ТМК)	Усклађеност могућности и капацитета извршавања задатака
Способност А	Ефекат А1	Задатак А11	ПМК А11	ТМК А11	75%
		Задатак А12	ПМК А12	ТМК А12	90%
	Ефекат А2	Задатак А21	ПМК А21	ТМК А21	80%
		Задатак А22	ПМК А22	ТМК А22	100%
		Задатак А23	ПМК А23	ТМК А23	0%
		Задатак А24	ПМК А24	ТМК А24	70%

Као што се види у табели 2 усклађеност потребних и постојећих могућности и капацитета за извршавање задатака је различита (од 0% до 100%).

У другом кораку, а применом израза 2 и 3 одређене су релативне тежине појединачних задатака и жељених ефеката:

- Задатак А11 0,40;
- Задатак А12 0,60;
- Задатак А21 0,20;
- Задатак А22 0,25;
- Задатак А23 0,15;
- Задатак А24 0,40;
- Ефекат А1 0,35;
- Ефекат А2 0,65.

На основу утврђеног нивоа усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за извршавање задатака, а применом израза 4, одређен је ниво усклађености потребних и постојећих могућности и капацитета за постизање жељених ефеката, односно ниво ефеката који се може постићи извршавањем потребних задатака и износи:

- Ефекат А1 0,84 (84%);
- Ефекат А2 0,69 (69%).

На основу нивоа усклађености могућности и капацитета за постизање жељених ефеката, а применом израза 5 утврђује се ниво усклађености потребне и постојеће способности и износи 0,74 (74%). Утврђивањем нивоа усклађености потребне и постојеће способности на приказани начин омогућава се уважавање различитих нивоа значајности задата и ефеката, ако и квантификовање утврђене разлике у способностима.

5. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ рада би је приказ могућности утврђивања нивоа усклађености потребних и постојећих способности.

Сагледавањем могућности примене метода операционих истраживања (првенствено метода вишеатрибутног одлучивања) утврђена је њихова практична применљивост. На конкретном примеру процене једне способности система одбране приказан је начин примене методе аналитичких хијерархијских процеса. Аналогно наведеном, а у зависности од конкретног проблема, могућа је примена и других метода.

Значај рада огледа се у могућности примене различитих метода у решавању оваквих и сличних проблема без обзира на број, врсту и комплексност способности система одбране.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стратегија одбране Републике Србије, Београд 2009. године.
- [2] Закон о одбрани, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 116/2007, 88/2009, 88/2009 – др. закон, 104/2009 – др. закон и 10/2015.
- [3] Stojkovic, D., & Dahl, R. B., *Methodology for long term defence planning*. Lilestrom: Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2007.
- [4] Ковач М., Стојковић Д., Стратегијско планирање одбране, Војноиздавачки завод, Београд, 2009.
- [5] Николић И., Боровић С., Вишекритеријумска оптимизација, Центар војних школа Војске Југославије, Београд, 1996.



МИКРОЕКОНОМСКА АНАЛИЗА КОНЦЕНТАРЦИЈЕ ПОНУДЕ ГРАНЕ КАО ОСНОВА ЗА СПРОВОЂЕЊЕ НАБАВКИ У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ

MICROECONOMIC ANALYSIS OF CONCENTRATION OF THE SUPPLY BRANCH AS THE BASIS FOR CONDUCTING PROCUREMENTS IN THE DEFENSE SYSTEM

МИЛАН МИХАЈЛОВИЋ

Катедра за финансије, Војна академија, Београд, milan.mih83@gmail.com

СНЕЖАНА КРСТИЋ

Катедра за финансије, Војна академија, Београд

БИЉАНА ИВАНОВА

Катедра за финансије, Војна академија, Београд

Резиме: Повећање ефикасности реализације набавки у систему одбране намеће захтев за анализом тржишта, како би се уочиле све његове карактеристике и једним свеобухватним поступком донели закључци који су од користи приликом планирања буџетских средстава. Набавка меса и сувомеснатих производа представља значајан део укупних набавки система одбране, одакле следи наше интересовање да на примеру овог тржишта укажемо на значај концентрације понуде гране за реализацију набавки. Циљ овог рада је да прикаже стање и актуелне трендове на тржишту производње, прераде и конзервисања меса, дефинише методолошке оквир и укаже на интензитет и услове конкуренције и као основу за спровођење набавки у систему одбране.

Кључне речи: тржишна концентрација, набавке, систем одбране, индустрија меса.

Abstract: Increasing the efficiency of procurement in the defense system imposes requirements for the analysis of the market, in order to identify all of its features and a comprehensive process draw conclusions that are useful during planning of budget funds. Supply of meat and delicatessen products consists poses a significant portion of total defense procurement system, which implies that our interest in the case of this market indicate the importance of supply concentration branches for implementation of procurement. The aim of this paper is to present the current status and trends in the market of production, processing and preservation of meat, defines the methodological framework and indicate the intensity of the competition terms and as a basis for the implementation of procurement in the defense system.

Keywords: market concentration, procurement, defense system, the meat industry.

1. УВОД

Динамични услови на данашњем глобалном тржишту, намећу потребу за континуираним истраживањима којима би се добиле информације о потребним параметрима који се односе и на карактеристике тржишне структуре и интензитет конкуренције. У економски развијеним земљама ниво концентрације тржишта представља један од најпознатијих и најчешће коришћених индикатора монополске моћи предузећа на посматраном тржишту. Понашање привредних субјеката и њихов однос са потрошачима се најбоље може сагледати праћењем степена концентрације тржишта. У случају високе концентрације и велике ограничености тржишта избор потрошача је веома смањен. Изградња модерне структуре тржишта ради обезбеђења интензивне и ефективне конкуренције између привредних субјеката је императив сваке државе, посебно земаља у развоју.

Набавни органи Министарства одбране Републике Србије испитују и истражују тржиште сваког појединачног предмета набавке и то тако што: испитују степен развијености тржишта, упоређују цене више потенцијалних понуђача, прате квалитет, период гаранције, начин и трошкове животног века предмета набавке, рокове испоруке, постојеће прописе и стандарде, могућности на тржишту за задовољавање потреба наручиоца на другачији начин и др.

Циљ овог рада је да укаже на значај утврђивања тржишне структуре преко концентрације тржишта, а ради ефикасније реализације набавки и ефективност коришћења додељених новчаних средстава систему одбране.

2. МЕРЕЊЕ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ ПОНУДЕ

Приликом одређивања степена концентрације понуде најчешће се користи тржишно учешће појединих учесника.

Појединачна предузећа непрекидно настоје да повећају своје тржишно учешће, јер постоји позитивна корелација између тржишног учешћа и профитабилности. Тежња да се оствари веће тржишно учешће за последицу има већи степен концентрације понуде[1].

У проучавању степена концентрације понуде на релевантном тржишту неопходно је решити два проблема. Први проблем је одабир релевантног тржишта на коме ће се мерити концентрација понуде, а други је избор одговарајуће варијабле преко које ће се мерити степен концентрације[2].

Концепт релевантног тржишта одударе од уобичајеног схватања појма тржишта у пракси или економској теорији. Он има своја два аспекта – предметни и географски. Релевантно тржиште обухвата релевантно тржиште производа и релевантно географско тржиште. Дакле, тржиште мора бити одређено према врсти производа (роба и услуга) који се на њему продају и омеђено је простором на коме се они продају и купују. [3] Наше право прихвата дефиницију релевантног тржишта која постоји у Европској Унији. Релевантно тржиште производа јесте скуп производа који су потрошачима заменљиви под прихватљивим условима, нарочито на основу својих карактеристика, уобичајене намене и цене. Релевантно географско тржиште јесте територија на којој тржишни субјекти учествују у понуди и тражњи под истим условима конкуренције, који се разликују од суседних територија[4].

Други проблем приликом мерења концентрације јесте одабир одговарајуће варијабле преко које ће се мерити концентрација. Међу варијаблима које се користе у ту сврху су: укупна производња, промет, укупна актива, број запослених, приход и сл. Свака од ових варијабли носи са собом одређена ограничења, тако да оцена концентрације утврђена њиховим кришћењем, захтева висок степен аналитичности и субјективне процене истраживача, како би резултати били разумљиви и применљиви.

3. ПОКАЗАТЕЉИ СТЕПЕНА КОНЦЕНТРАЦИЈЕ ПОНУДЕ ГРАНЕ

За добијање информације о конкретной индустријској грани и њеној структури, економски истраживачи и доносиоци економских одлука користе различите показатеље концентрације. Као такви они служе за мерење степена концентрације понуде, али и сагледавање конкуренције између предузећа на конкретном тржишту у одређеном временском транутку. Између великог броја индикатора за утврђивање, односно, мерење степена неједнакости учешћа појединих учесника у тржишној структури најчешће се користе: Рацио концентрације n водећих предузећа (CR_n), *Herfindal-Hiršmanov* индекс (HHI), Лоренцова крива (крива концентрације), Цини коефицијент и Индекс ентропије. Примена ових показатеља се односи на разумевање, разматрање и анализу постојања или непостојања монополистичке тржишне структуре.

Многа истраживања су показала да постоји висок степен корелације између појединачних показатеља кон-

центрације. Међутим, ниједан од њих самостално не може да прикаже стварну природу конкуренције неке гране. Теоретичари *Hanah* и *Kej* су дали критеријуме које мора да задовољи неки показатељ како би најкомплетније описао концентрацију и природу конкуренције у некој грани:

- Показатељ концентрације треба једну индустријску грану да сврста у концентрисанију онда када збир учешћа највећих предузећа у производњи и продаји превазилази исти тај збир у другој;
- Трансфер тржишног учешћа од малих ка великим предузећима треба да доведе до повећања концентрације. Такође, улазак нових компанија у грану треба да смањи, а излазак да повећа концентрацију;
- Повезивање предузећа унутар исте гране треба да повећа степен концентрације гране;
- Ако су шансе за раст у неком периоду идентичне и за велике и за мале компаније, ефекат повећања ће бити много већи за веће него за мање компаније, што ће довести до повећања степена концентрације.[5]

У складу са наведеним критеријумима највећи аналитички значај има *Herfindal-Hiršmanov* коефицијент који у највећој мери задовољава наведене критеријуме.

Овај индекс представља конвексну функцију тржишних учешћа, па је зато осетљив на њихову неједнакост. Он представља збир квадрата појединачних тржишних учешћа предузећа у једној индустријској грани. Може се исказати преко следеће једначине:

$$HHI = \sum_{i=1}^n (X_i^2) \quad (1)$$

При чему је X_i тржишно учешће i -тог предузећа [6].

Значај индекса се огледа у томе што, иако уважава појединачна тржишна учешћа свих предузећа у грани, он ипак посебно реагује на присуство предузећа са великим тржишним учешћем, која значајно повећавају његову вредност.

За разлику од рација концентрације n водећих предузећа вредност *Herfindal-Hiršmanov*-ог индекса зависи од броја конкурената на тржишту и од разлике у њиховој релативној тржишној снази. Вредност HHI се смањује са повећањем броја конкурената на тржишту. Такође, вредност овог индекса расте са повећањем диференцијације у величини тржишне моћи због тога што велика предузећа имају већи пондер у обрачуну због ефекта квадрирања тржишних учешћа. Највећи проблем код одређивања вредности *Herfindal-Hiršmanov*-ог индекса јесте неопходност поседовања информације о вредности тржишних учешћа за свако предузеће које припада посматраном тржишту. Из формуле за израчунавање *Herfindal-Hiršmanov*-ог индекса може се уочити да предузећа са малом вредношћу тржишног учешћа имају веома мали утицај на резултат. Односно, за израчунавање вредности *Herfindal-Hiršmanov*-ог индекса довољно је

поседовати податке у вези тржишних учешћа свих предузећа чије је тржишно учешће веће од 1%.

Када се израчунавају вредности овог индекса, тржиште се класификује као [7]:

- Неконцентрисано – *НИИ* је испод 15%;
- Умерено концентрисано – *НИИ* је између 15% и 25% и
- Високо концентрисано – *НИИ* је изнад 25%.

4. АНАЛИЗА ТРЖИШТА ВОДЕЋИХ ДРУШТАВА ЗА ПРОИЗВОДЊУ, ПРАРАДУ И КОНЗЕРВИСАЊЕ МЕСА

Функција набавке јесте, по својој природи, врло сложена и свеобухватна делатност у оквиру материјалног и финансијског пословања Војске Србије. Она обухвата један широки спектар активности, веза и односа, почев од планирања новчаних средстава и набавки, до истраживања тржишта и спровођења самог поступка набавке.

Истраживање ефикасности је од суштинског значаја за сваку делатност, па и Војску Србије, јер у себи садржи и повезује циљеве те делатности, ресурсе и трансформише процесе који представљају основу за реализацију циљева.

Разматрање ефикасности набавне функције у Војсци Србије не може се апстраховати од утицаја и других функција у систему снабдевања (планирање и одобравање новчаних средстава, планирања набавки и извр-

шење финансирања), јер су они предуслови за реализацију јавних набавки, а не може се апстраховати ни у односу на укупна привредна кретања, а посебно праћења и прилагођавања савременим тржишним кретањима.

Правовремена набавка покретних ствари веома је значајна за редован живот и обуку јединица Војске Србије. За набавку средстава из домена "редовне делатности" (прехрамбених производа, одеће, обуће, енергената за грејање, погонског горива, лекова, потрошног материјала и сл.), троше се значајна средства одобрена у годишњем плану расхода. У вези са овим је и следећи пример анализе тржишта водећих предузећа за производњу, прераду и конзервисање меса, који има значај за органе који спроводе набавке у систему одбране, јер тржишна структура у значајној мери утиче на ефикасност реализације набавки.

Да би се израчунала тржишна концентрација наведене гране користиће се *Herfindal-Hiršmanov* индекс и подаци који су добијени у спроведеном истраживању. [8] Најпре се дефинише релевантно тржиште.

Као релевантно тржиште у нашем примеру узима се тржиште за производњу, прераду и конзервисање меса на територији Републике Србије изузев територије Косова и Метохије. У Табели 1 Приказано је 30 привредних за 2013годинудруштва.

Табела 1: Израчунавање тржишног учешћа

Привредна друштва	Пословни приходи у 2013.	Тржишно учешће	Квадрат тржишног учешћа
Carnex	6.271.508 дин.	11,65%	1,36%
Zlatiborac	2.474.396 дин.	4,60%	0,21%
Matijević	17.902.069 дин.	33,25%	11,05%
Neoplanta	6.837.717 дин.	12,70%	1,61%
Agimes	1.536.113 дин.	2,85%	0,08%
Kotlenik promet	1.318.589 дин.	2,45%	0,06%
IM Matić	636.609 дин.	1,18%	0,01%
TP Meso kombinat promet	1.150.165 дин.	2,14%	0,05%
IM Topola	1.642.720 дин.	3,05%	0,09%
Agro Papuk	2.676.089 дин.	4,97%	0,25%
Famis Co	136.054 дин.	0,25%	0,00%
Klanica i prerada mesa Budućnost	257.175 дин.	0,48%	0,00%
Big Trade	965.123 дин.	1,79%	0,03%
Doo Štrand	972.302 дин.	1,81%	0,03%
%Doo Sjenica	129.316 дин.	0,24%	0,00%
SMRK Saša	314.219 дин.	0,58%	0,00%
Gozba	593.407 дин.	1,10%	0,01%
Klanica 8. oktobar	405.132 дин.	0,75%	0,01%
Pajić Company	127. 157 дин.	0,24%	0,00%
Zmajevac	409.742 дин.	0,76%	0,01%
Mesopromet	23.565 дин.	0,04%	0,00%
PI Panonka	60.193 дин.	0,11%	0,00%
Yuhor	4.022.408 дин.	7,47%	0,56%
Trgocentar	904.363 дин.	1,68%	0,03%
Gombit	229.477 дин.	0,43%	0,00%

Привредна друштва	Пословни приходи у 2013.	Тржишно учешће	Квадрат тржишног учешћа
Poljo-MIX	286.893 дин.	0,53%	0,00%
Gozba doo Vojka	593.407 дин.	1,10%	0,01%
San doo Kraljevo	505.124 дин.	0,94%	0,01%
MK doo Leskovac	239.415 дин.	0,44%	0,00%
Alfa promet doo Кас	226.703 дин.	0,42%	0,00%
Укупно:	53.846.592 дин.	100%	15,49%

У наведеном случају *HHI* је 15,49% на граници између умерено концентрисаног и неконцентрисаног тржишта што говори да на овом тржишту постоји велики број великих, малих и средњих друштава која се баве производњом, прерадом и конзервисањем меса на територији Републике Србије. Као резултат овакве тржишне структуре имамо стимулацију примарних произвођача да проширују своје производне капацитете и стимулацију других привредних учесника за започну наведену производњу.

На основу овакве тржишне структуре доносиоци одлука у систему одбране могу да закључе да ниједно предузеће не може да користи свој доминантни положај да би поставило вишу продајну цену на штету потрошача.

Оваква анализа, која би била континуирана, требала би да се спроводи и за потребе осталих набавки које се реализују за потребе система одбране, јер праћење и планирање висине буџетских средстава за ову намену је условљено управо ценама које се очекују на тржишту.

Иако је спроведена анализа дала оцену конкурентности посматране гране, ипак изоловано посматрани показатељи концентрације понуде не могу да дају потпуну оцену природе конкуренције која постоји на неком тржишту. За квалитетну оцену природе конкуренције на неком тржишту морају се уважити и неке субјективне оцене које се базирају на елементима који су карактеристични за конкретну грану, као што су традиција гране, позадина односа између конкурената, карактеристике менаџмента и сл. Претходно поменути коефицијенти не уважавају ове елементе, па их зато увек треба допунити субјективном оценом о природи тржишта и односа између конкурената на њему.[9]

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је на примеру индустрије за производњу, прераду и конзервисање меса истакнут тренд кретања тржишта ове привредне гране и дате су методолошке основе за спровођење анализе овог тржишта користећи релевантно тржиште. Стање присутности тржишне несавршености, у виду олигопола и монопола доприноси могућности стварања доминантног положаја предузећа, која се могу појавити и као понуђачи у поступцима набавки, што ствара могућност да се утиче и на ниво цене поризвода који се нуди.

Истраживање тржишта је основа за квалитетну израду како природног тако и финансијског плана, што у

условима чврстог буџетског ограничења и рестриктивне буџетске политике услов је без кога се не може (*sine qua non*).

Ради постизања што повољније преговарачке позиције наручиоца, а у смислу дефинисања што прецизнијих услова предмета набавке, неопходно је познавање тржишне структуре. Ова неопходност упућује на то да се природно и финансијско планирање мора заснивати на једнакој полазној основи што је у овом случају допринос истраживању тржишта неком од метода анализе концентрације понуде гране. Тиме се усмерава наручилац на одређену стратегију набавки, које су различите и зависе од морфологије тржишта на коме се реализују.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Amato, H., L., Wilder, P., R., "Global competition and global markets: some empirical results", *International Business Review*, Elsevier, 13 (3) (2004) 401-16.
- [2] Стојановић, Б., Радивојевић В., "Концентрација понуде као израз несавршености тржишта: пример неспецијализоване трговине на мало на тржишту града Ниша", *Економика предузећа*, 56 (6) (2008) 327-38.
- [3] Лабус, М., "Упоредна анализа релевантног тржишта: концепт и примена", *Економика предузећа*, 56(2) (2008) 48-61.
- [4] *Закон о заштити конкуренције*, (Сл. гласник РС бр. 51/2009 и 95/2013)
- [5] Костић, М., "Мерење концентрације понуде гране", *Економски хоризонти*, 10 (1) (2008) 90-98.
- [6] Шај О., *Индустријска организација – теорија и примена*, (превод), ЦИД Економски факултет у Београду, 2005.
- [7] Dobre, C., "Measuring Market Concentration According to European Competition Policy", *Constanta Maritime University's Annals*, Romania, 18 (3) (2012) 265-70.
- [8] Благојевић, Ј., *Процес анализе финансијских извештаја на примеру водећих друштава за производњу прераду и конзервисање меса у Републици Србији*, мастер рад, Универзитет Сингидунум, Београд, 2014.
- [9] Вукоје, А., "Фактори егзистенције као услов стварања тржишне позиције предузећа", *ОДИТОР*, ЦЕФИ, Београд, 1(5)(2013)27-7.



ПРИМЕНА МЕТОДЕ ТРАНСПОРТНОГ ПРОБЛЕМА У ОПТИМИЗАЦИЈИ СНАБДЕВАЊА У ЛОГИСТИЧКОЈ ПОДРШЦИ ОРУЖАНИХ СНАГА

ARMED FORCE LOGISTIC SUPPORT SUPPLY OPTIMIZATION

МЛАДЕН КОСТИЋ

Управа за планирање и развој (Ј-5) ГШ ВС, Београд, rockymladenkostic@gmail.com

ЉУБОМИР ДУЛОВИЋ

Управа за планирање и развој (Ј-5) ГШ ВС, Београд, lubomir.dulovic@vs.rs

Резиме: Овај рад представља посебан метод операционих истраживања-транспортни проблем, који се може употребити за решавање проблема у логистичкој подршци у оружаним снагама. Решавање транспортног проблема је процес који се састоји из два дела, од којих први води до базичног решења, а други представља оптимално решење.

Кључне речи: транспортни проблем, метода најмањих трошкова, МОДИ метода, логистичка подршка, оптимизација снабдевања оружаних снага.

Abstract: This document represents specific method of operational research - transportation problem which can be used for logistic support issues in armed forces. Transportation problem resolving is two step process of which the first leads to improved basic solution of the problem and the second step is the optimal solution of the problem.

Keywords: Transportation problem, minimum cost method, MODI method, logistic support, armed force supply optimization.

1. УВОД

Транспортни проблеми заузимају значајно место у операционим истраживањима. Ови проблеми према [1] третирају одређивање оптималних трошкова при познатој структури транспорта. Уколико су трошкови транспорта линеарно зависни од количина које се транспортују, ови проблеми су линеарни и могу се решавати симплекс методом линеарног програмирања. Линеарни транспортни проблеми су специјални случајеви линеарних проблема. Њихова специфичност се огледа у упрошћавању коефицијената ограничења, што је довело до стварања и примене посебних транспортних метода линеарног програмирања.

Данас, ова метода има знатно ширу примену, него што се самим термином подразумева и примењује се у циљу оптималног размештаја просторија и појединих служби, унутар предузећа, оптималног времена обављања одређених делатности, у медицини, планирању војних задатака и слично.

2. ОПШТИ ОПИС ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИЈЕ СНАБДЕВАЊА- ТРАНСПОРТНИ ПРОБЛЕМ У ВС

Према [2] систем логистичке подршке је посебан систем, подсистем ВС као система, којим се усклађеним односом, организацијом и ангажовањем логистичких

служби реализује материјална, здравствена и инфраструктурна подршка система одбране.

Логистичка подршка Војске заснована је на логистичким функцијама које реализују логистички елементи Војске у складу са својим надлежностима.

Логистичке функције су појединачне, према раније наведеним принципима обједињене делатности логистичке подршке, а Доктрином ВС дефинисано је и снабдевање, као једна од основних функција логистичке подршке.

Најопштија дефиниција снабдевања јесте да је оно основна делатност логистике, којом се обезбеђују материјалне потребе снага у миру и рату. То је процес који почиње планирањем, а извршава се дистрибуцијом средстава до крајњег корисника.

Планирање омогућава оптимално решавање проблема рационалног доношења одлуке у ситуацијама када постоји више варијанти употребе снабдевања материјалним средствима из сопствених залиха или ослонцем на територију. Дистрибуција представља превозење или транспорт из складишта до јединица, без обзира да ли транспорт врши сам снабдевачка јединица или јединица која је крајњи корисник.

Управо то представља предмет интересовања, односно, истраживања посебне области операционих истраживања, која решава проблем изналажења оптималног транспорта-транспортни проблем.

3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ТРАНСПОРТА

Транспортни проблем се јавља када треба одредити програм превоза ограничених количина неке робе из неколико производних центара A_i , при чему у i -том исходишту постоји a_i ($i=1,2,\dots, m$) јединица ресурса, до неколико потрошачких центара B_j , где је j -том одредишту потребно b_j ($j=1,2,\dots, n$) јединица истог ресурса. Јединични трошкови транспорта из i -тог исходишта у j -то одредиште су c_{ij} ($i=1,2,\dots, m; j=1,2,\dots, n$), при чему је укупна понуда једнака укупној тражњи.

На основу наведених елемената општи транспортни проблем се састоји у следећем: потребно је одредити количине хомогене робе x_{ij} ($i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$) тако да тражња b_j по појединим потрошачким центрима B_j ($j=1,2,\dots, n$) буде у потпуности задовољена, а да понуда a_i производних центара A_i ($i=1,2,\dots, m$) не буде премашена и да укупни трошкови транспорта буду минимални.

$$\min F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

Функција (1) представља математички модел: функцију циља транспортног проблема. Ограничења су представљена следећим функцијама:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i (i=1,2,\dots,m) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j (j=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad \text{и} \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0, c_{ij} \geq 0, a_i > 0, b_j > 0 \quad (5)$$

Ова ограничења имају следеће значење:

- да је укупна величина транспорта из центра A_i до различитих места B_j једнака обиму производње или залиха из центра A_i ;
- да је укупан обим робе коју прими место B_j из различитих центара A_i , једнак укупној тражњи тог места;
- ограничењем (4) се изражава захтев да је укупан обим понуде у свим центрима A_i ($i=1,2,\dots, m$), једнак укупној тражњи свих центара B_j ($j=1,2,\dots, n$);
- Услов (4) истовремено показује да постоји линеарна зависност скупа једначина (2) и (3) и
- (5) представља услов ненегативности.

Стандардни транспортни проблем се може представити табелом, чији унутрашњи део представља матрица, која се назива стандардна транспортна матрица.

$$\text{матрица } C = [C_{ij}], \quad C = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{m1} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Табела 1: Стандардни модел транспорта

	B_1	B_2	...	B_n	понуда
A_1	C_{11} x_{11}	C_{12} x_{12}	...	C_{1n} x_{1n}	a_1
A_2	C_{21} x_{21}	C_{22} x_{22}	...	C_{2n} x_{2n}	a_2
...
A_m	C_{m1} x_{m1}	C_{m2} x_{m2}	...	C_{mj} x_{mj}	a_m
тражња	b_1	b_2	...	b_n	Σ

Структура ограничења се може записати у форми једначина:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1n} &= a_1 \\ X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2n} &= a_2 \\ \dots & \dots \\ X_{m1} + X_{m2} + \dots + X_{mn} &= a_m \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{m1} &= b_1 \\ X_{12} + X_{22} + \dots + X_{n2} &= b_2 \\ \dots & \dots \\ X_{n1} + X_{n2} + \dots + X_{mn} &= b_n \end{aligned} \quad (8)$$

Систем једначина (7) и (8) представља систем зависних линеарних једначина. Једначину (8) добијамо тако што од суме условних једначина за исходишта (7) одбијемо суму првих $n-1$ једначина за одредиште.

Због ограничења (4) у систему једначина (2) и (3), нису све једначине линеарно независне, односно, број линеарно независних једначина не може бити већи од $(m+n-1)$. Пошто број базичних променљивих не може бити већи од броја независних једначина, то је база транспортног проблема састављена од $m+n-1$ димензионог вектора, односно, следи да базично решење има тачно $(m+n-1)$ позитивних променљивих X_{ij} . Свака врста или колона математичког модела транспортног проблема (табеларни приказ) мора да садржи једну или више базичних променљивих. У супротном, одговарајућа сума би била једнака 0, што би било у спротности са постављеним проблемом.

Изналажење проблема се своди на шематски приказ, чиме се олакшава налажење решења и избегава решавање система једначина.

Поступак је итеративан, чиме се тежи ка оптималном решењу. Према [1] начелно се састоји из два посебна дела, при чему је први изналажење почетног базичног решења, а други је налажење оптималног решења, на основу побољшања почетног решења.

Почетно базично решење добија се помоћу једне од следећих метода:

- северозападног угла,
- намањих трошкова,
- двојног првенства и
- Вогелове апроксимативне методе

На основу почетног базичног решења, одређивање оптималног решења транспортног проблема може се наћи помоћу више следећих метода:

- Stepping stone (метода скакања са камена на камен),
- методе потенцијала (MODI),
- метода условно-оптималних планова и
- метода Форда и Фулкерсона.

Метода Форда и Фулкерсона се употребљава без почетног базичног решења.

Иако је симплекс метода универзална за решавање задатака линеарног програмирања, према [1], постоје проблеми или задаци, који се могу решити и једноставнијим алгоритмима. Транспортни проблем, који се решава дистрибуција робе из датих исходишта у дата одредишта, спада у ову групу задатака-проблема.

4. РЕШАВАЊЕ КОНКРЕТНОГ НУМЕРИЧКОГ ПРОБЛЕМА

Решавање конкретног проблема може се видети следећим, хипотетичким, примером. Потребно је извршити снабдевање три војна објекта неким материјалом, као што је муниција, храна и слично (P_1, P_2 и P_3) из три складишта или исходишта (S_1, S_2 и S_3).

Како је удаљеност између складишта различита, као и евентуална близина непријатеља, одређивање оптималног програма транспорта знатно снижава транспортне трошкове, у смислу цене самог транспорта и цене која би била плаћена услед могућих губитака, који су последица дужег излагања могућем дејству непријатеља. Да би се извршила оптимизација, извршена је анализа складишних могућности, логистичких потреба и размештаја објеката у простору. На основу тога се дошло до података о укупним количинама материјала у појединим складиштима, материјалним потребама, као и јединачним трошковима транспорта. Јединачни трошкови транспорта представљају трошкове по јединици мере транспортованог материјала (табела 2).

Табела 2: Понуда, потражња и цена трошкова

	P_1	P_2	P_3	Понуда
S_1	5	2	7	3500
S_2	3	8	4	4000
S_3	2	6	3	2500
Тражња	4700	2400	2900	10000

Дати пример је упроштен у односу на могуће ситуације у стварности где би било далеко више складишта и одредишта. Због тога се може стећи погрешан утисак да је проблем лако решив и на „здраворазумски“ начин, дубљим промишљањем. Као аргумент против може послужити примена било које од метода за налажење почетног базичног решења. У овом раду је искориштена метода најмањих трошкова и њоме се одређује почетно решење (табела 3).

Ако је $[C_{ij}] = \min(i,j) [C_{ij}]$, онда је $X_{ij} = \min\{a_i, b_j\}$

Табела 3: Почетно решење

	P_1	P_2	P_3	Понуда
S_1	5	2 2400	7 1100	3500
S_2	3 2200	8	4 1800	4000
S_3	2 2500	6	3	2500
Тражња	4700	2400	2900	10000

Добијено је следеће почетно решење:

$$Z = 2 \cdot 2400 + 7 \cdot 1100 + 3 \cdot 2200 + 4 \cdot 1800 + 2 \cdot 2500$$

$$Z = 4800 + 7700 + 6600 + 7200 + 5000 = 31300$$

Након добијања почетног решења, неком од метода за добијање оптималног решења проверавамо оптималност почетног и долазимо до оптималног решења. Конкретно, у овом раду је искориштена метода потенцијала (MODI) и њоме се одређује оптимално решење транспортног проблема.

Смисао ове методе, према [3], се састоји у томе да уводи систем $(m+n)$ бројева U_i и V_j , односно, сваком од исходишта се додељује одређена дуална променљива „симплекс множитељ“ U_i ($i=1,2,\dots,m$), а сваком одредишту дуалне променљиве V_j ($j=1,2,\dots,n$). Потенцијале U_i и V_j изаберемо тако да је њихова сума једнака одговарајућем трошку транспорта преко те руте C_{ij} , где индекси означавају оптерећеност поља у матрици трошкова (табела 2).

$$U_i + V_j = C_{ij} \quad (9)$$

Ако се свако од ограничења у односу на исходиште помножи са U_i , а ограничење у односу на одредиште са V_j и дода функцији циља, добија се модификовани облик функције циља,

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^m U_i a_i + \sum_{j=1}^n V_j b_j = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C'_{ij} X_{ij} \quad (10)$$

где је:

$$C'_{ij} = C_{ij} + U_i + V_j \quad (11)$$

У тренутку одређивања вредности потенцијала U_i и V_j имамо $(m+n)$ непознатих потенцијала, а $(m+n-1)$ - оптерећених поља, односно једначина. Можемо једној непознатој дати произвљну вредност, а остали $(m+n-1)$ непознати потенцијали биће једнозначно одређени. Обично потенцијал првог реда у матрици изјадначимо са 0, али су могући и другачија одређења. Величине U_i и V_j се одређују тако да коефицијенти уз базичне променљиве буду једнаке 0, односно:

$$C'_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j = 0 \quad (12)$$

Након израчунавања вредности за потенцијале U_i и V_j , израчунавамо вредност за C'_{ij} за празна поља у нашој матрици трошкова.

$$U_i + V_j = C'_{ij} \quad (13)$$

Празна поља у почетном решењу су била сва поља која у почетном решењу нису ангажована. Према знаку C'_{ij} постављамо критеријум оптималности. Ако су за сва поља првобитни трошкови C_{ij} већи или једнаки од добијених одговарајућих трошкова C'_{ij} , онда је добијено решење оптимално и обрнуто, ако је $C'_{ij} > C_{ij}$, односно:

$$C'_{ij} - C_{ij} > 0 \quad (14)$$

постоји боље решење. Бира се поље са највећом позитивном разликом према новом решењу трошка C'_{ij} и у такво поље се доводи максимална могућа количина терета:

$$\max[(C'_{ij} - C_{ij}) > 0] \quad (15)$$

Да би се одржала постојећа равнотежа између понуде и потражње, једну променљиву елиминишемо из базе, а уводи се нова компонента X_{rk} , према критеријуму (15). То се ради тако што се у поље (r,k) уводи непозната количина робе, која се привремено означава са Θ , где је Θ неодређен позитиван број. Кретање места уласка и изласка променљивих се врши замишљеним кретањем фигуре топа у шаху унутар једног многоугаоника. Овај многоугаоник завршава у пољу (r,k) захватајући већину ангажованих поља почетног решења. Одузимањем и додавањем Θ базичним решењима по теменима многоугла одржава се равнотежа понуде и тражње, а поље (r,k) је добило количину робе која је циркулирала кроз многоугаоник.

Табела 4: Побољшано решење

	P ₁	P ₂	P ₃	Понуда
S ₁	5 +Θ	2 2400	7 1100-Θ	3500
S ₂	3 2200-Θ	8	4 1800+Θ	4000
S ₃	2 2500	6	3	2500
тражња	4700	2400	2900	10000

Са новодобијеним решењем (табела 4) понављамо поступак, све док не добијемо оптимално решење (табела 5).

Табела 5: Оптимално решење

	P ₁	P ₂	P ₃	Понуда
S ₁	5 1100	2 2400	7	3500
S ₂	3 1100	8	4 2900	4000
S ₃	2 2500	6	3	2500
Тражња	4700	2400	2900	10000

$$Z = 5 \cdot 1100 + 2 \cdot 2400 + 3 \cdot 1100 + 4 \cdot 2900 + 2 \cdot 2500$$

$$Z = 5500 + 4800 + 3300 + 11600 + 5000 = 30200$$

Укупни трошкови транспорта биће 30200, а решење је дато табелом (5), а проблем је решен на електронском рачунару и ручно.

Минимални трошкови транспорта биће остварени уколико се материјал из складишта S₁ испоручи у количинама од 1100кг у објекат P₁ и 2400кг у објекат P₂. Из складишта S₂ биће испоручено 1100кг у P₁, а у објекат P₃ биће испоручено 2900кг материјала. Из складишта S₃ у објекат P₁ биће пребачено 2500кг, уз укупне трошкове од 30200. Решење капацитета транспортног проблема чини 5 базичних променљивих: X₁₁, X₁₂, X₂₁, X₂₂ и X₃₁.

Упоредујући минималне трошкове из коначног решења са почетним решењем из табеле (3), види се да је постигнуто смањење цене за 1100. Ово би се десило и са другим почетним решењима, добијеним неком од метода за добијање почетног базичног решења, што доказује значај примене.

5. ЗАКЉУЧАК

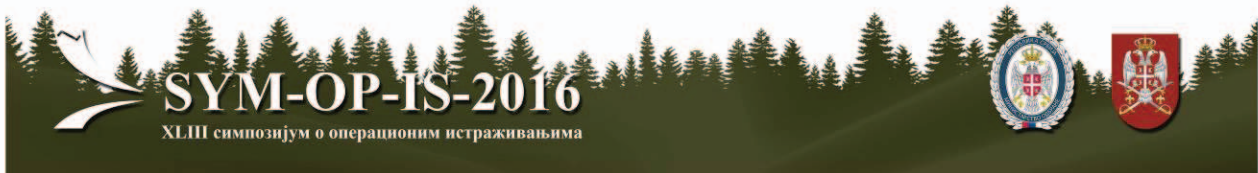
Транспорт одређених количина интендантских средстава мора се заснивати на објективним и мерљивим показатељима, односно, планирање и реализовање логистичке подршке мора се заснивати на објективним и мерљивим показатељима. Као што је речено, методе изналажења оптималног транспорта су кориштене, у почетку, искључиво за решавање транспортних проблема, које своде представљање проблема на шематски приказ, што олакшава проналажење решења, јер се избегава систем једначина. Њихова примена је могућа и за друге сврхе, као и у циљу проналажења максималне вредности функције критеријума.

Сврха рада је да укаже на могућност ручног начина решавања проблема, који се данас, углавном, решавају електронским рачунарима, базираним на симплекс методи.

Поступак решавања је шематски али се састоји из два дела, где се прво добија почетно, а затим оптимално решење. Практичним примером је приказана конкретна примена методе најмањих трошкова и МОДИ метода, за оптимизацију проблема транспорта у логистици.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петрић Ј., Којић З. и Шаренац Л., *Операциона истраживања-Збирка решених задатака књига I.*, ИШП Привредно финансијски водич, Београд 1978.
- [2] *Доктрина логистике Војске Србије*, Медија центар Одбрана, Београд 2012.
- [3] Стојиљковић Милан и Вукадиновић Светозар, *Операциона истраживања у војсци*, ВИЗ Београд, 1974.



ИЗБОР МОДЕЛА СТРАТЕГИЈСКОГ УПРАВЉАЊА ТРАНСПОРТОМ ПРИМЕНОМ FUZZY TOPSIS МЕТОДЕ

SELECTION OF MODEL OF STRATEGIC TRANSPORT MANAGEMENT USING FUZZY TOPSIS METHOD

СРЂАН ДИМИЋ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs

ВЛАДА МИТИЋ

Управа за стратегијско планирање МО, Београд, vlada.mitic@mod.gov.rs

МИЛОШ ДУРКОВИЋ

ВП 5004 Јаково, Војска Србије, mdurkovic127@yahoo.co.uk

Резиме: Комплексне и динамичне промене окружења, са све мањом могућношћу предвиђања промена средине у којој организација функционише, условиле су и трансформацију процеса њеним управљањем и допринели развоју и афирмацији стратегијског управљања. Са циљем да се транспортни систем система одбране Републике Србије успешно прилагоди захтевима променљивог окружења развијена су три модела стратегијског управљања транспортом. У раду је приказана примена fuzzy TOPSIS методе за избор оптималног модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране Републике Србије.

Кључне речи: модел, стратегијско управљање, транспорт, fuzzy TOPSIS.

Abstract: Complex and dynamic environmental changes, with ever less possibility of predicting changes in the environment in which the organization operates, led to the transformation of its management process and contribute to the development and promotion of strategic management. In order to make transport system of Serbian defence more adoptable to changing environment we developed three models of strategic transport management. This paper presents an application of fuzzy TOPSIS method to select the optimal strategic transport management model in the Serbian defence system.

Keywords: model, strategic management, transport, fuzzy TOPSIS.

1. УВОД

Развој човечанства својом променљивошћу утицао је, између осталог, и на снажан развој и испољавање стратегијског управљања. Комплексне и динамичне промене окружења, са све мањом могућношћу предвиђања промена средине у којој организација функционише, условиле су и трансформацију процеса њеним управљањем и допринели развоју и афирмацији стратегијског управљања [1].

Имајући у виду да динамичност промена у окружењу захтева адекватно прилагођавање организације, може се рећи да је дугорочно сагледавање промена постало савремена неопходност [2]. Како транспортне организације своју пословну активност реализују у променљивом окружењу, потреба за стратегијским управљањем све више добија на значају.

Са циљем да се транспортни систем успешно прилагоди захтевима променљивог окружења приступило се развоју одговарајућег модела стратегијског управљања транспортом. За избор оптималног модела који

ће обезбедити успостављање одрживе стратегије развоја и правовремено прилагођавање променљивим захтевима окружења у раду је примењена fuzzy TOPSIS метода.

2. РАЗВОЈ МОДЕЛА СТРАТЕГИЈСКОГ УПРАВЉАЊА ТРАНСПОРТОМ

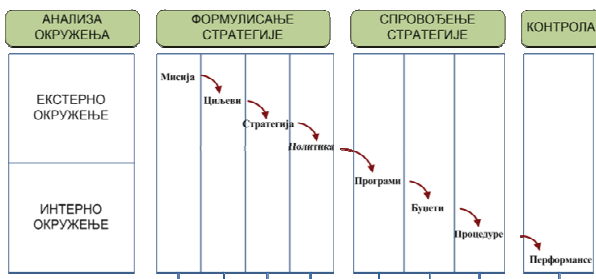
Стратегијско планирање је препознато као најважнија фаза процеса стратегијског управљања, јер се кроз планирање доносе одлуке о циљевима, политикама, стратегијама и сету појединачних планова којима се врши њихова имплементација у реалном пословању организације [1].

У складу са тим, пред стратегијско управљање транспортом у систему одбране Републике Србије, постављен је задатак да обезбеди адекватан оквир за решавање разноврсних проблема у условима променљивих и ограничених ресурса у светлу садашњих, али и будућих карактеристика екстерног и интерног окружења.

2.1. Општи модел стратегијског управљања

Ефикасно управљање транспортом праћено је бројним тешкоћама које, углавном, произилазе из динамичног и нестабилног окружења у коме транспортне организације егзистирају. У том смислу, од стратегијског управљања се очекује да укаже на конкурентске предности и недостатке организације, односно да идентификује постојеће и будуће проблеме и предвиди одговарајуће начине и акције за њихово решавање помоћу расположивих ресурса у постојећим и очекиваним условима пословања [2].

У литератури је углавном прихваћен општи модел стратегијског управљања који се са одређеним модификацијама може применити на транспортне организације, као и на транспортни систем у целини [2], слика 1.



Слика 1: Општи модел стратегијског управљања транспортом

2.2. Разрада варијанти модела стратегијског управљања транспортом

Имајући у виду да стратегијско управљање транспортом у систему одбране Републике Србије треба да обезбеди компатибилност са захтевима праксе у постојећим, али и у предстојећим условима окружења приступило се разради одговарајућег модела. У складу са тим, модел стратегијског управљања транспортом треба да омогући задовољење не само сопствених транспортних захтева и потреба за кретањем већ и континуирану временску комплементарност са транспортним системом Републике Србије.

Након сагледавања модела стратегијског управљања познатих у теорији и пракси развијена су три модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране Републике Србије:

- модел стратегијског управљања транспортом заснован на способностима;
- модел стратегијског управљања транспортом заснован на Balanced Scorecard концепту;
- модел стратегијског управљања транспортом.

Предложени модели омогућавају изградњу транспортног система који је способан да одговори, како садашњим, тако и будућим захтевима система одбране Републике Србије. Специфичност овако замишљених модела стратегијског управљања транспортом, по облику и фазама које садрже, огледа се у карактеристикама практичне реализације појединих фаза и активности.

С обзиром да су развијена три модела стратегијског управљања транспортом било је потребно изабрати оптималан модел.

3. FUZZY TOPSIS МЕТОДА

Природа проблема избора оптималног модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране Републике Србије упућује на вишекритеријумски приступ у вредновању алтернатива. За избор оптималног модела примењена је fuzzy TOPSIS метода која се може описати на следећи начин [3]:

Претпоставимо да је формирана група од k доносиоца одлуке (D_1, D_2, \dots, D_k) за рангирање m алтернатива (A_1, A_2, \dots, A_m) уз поштовање n критеријума (C_1, C_2, \dots, C_n). Матрица одлучивања добијена од стране доносиоца одлуке $d_t, t = 1, 2, \dots, k$ има облик:

$$R_t = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & r_{11t} & r_{12t} & \dots & r_{1nt} \\ A_2 & r_{21t} & r_{22t} & \dots & r_{2nt} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_m & r_{m1t} & r_{m2t} & \dots & r_{mnt} \end{matrix} \quad (1)$$

За оцењивање алтернативе A_i у односу на критеријум C_j добијене од стране доносиоца одлуке d_t користимо $r_{ijt} = (o_{ij}, p_{ij}, q_{ij})$, $r_{ijt} \in R^+$, $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$; $t = 1, 2, \dots, k$.

Поступак спровођења fuzzy TOPSIS методе састоји се из шест корака:

Корак 1: Утврђивање значаја тежине критеријума. Нека је $w_{jt} = (a_{jt}, b_{jt}, c_{jt})$, $j=1, 2, \dots, n$; $t = 1, 2, \dots, k$ значај тежине критеријума C_j добијен од доносиоца одлуке d_t . Тежину W_j критеријума C_j можемо израчунати користећи следећи израз:

$$w_j = \frac{\sum_{t=1}^k w_{jt}}{k} \quad (2)$$

где је w_{jt} тежина изведена применом градираног метода интеграције средине fuzzy бројева.

Корак 2: Утврђивање значаја алтернатива. Значај алтернатива R_{ij} рачуна се применом израза:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^k r_{ijt}}{k} \quad (3)$$

где је r_{ijt} добијено применом градираног метода интеграције средине fuzzy бројева.

Корак 3: Конструкција нормализоване и пондерисане матрице одлучивања. Нека је $S = [s_{ij}]_{m \times n}$ нормализована матрица одлучивања. Нормализоване вредности s_{ij} рачунају се применом израза:

$$s_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (R_{ij})^2}} \quad (4)$$

Нека је $V=[v_{ij}]_{m \times n}$ пондерисана матрица одлучивања. Пондерисана вредност v_{ij} се добија као производ нормализоване матрице и тежине критеријума:

$$v_{ij} = W_j \cdot s_{ij} \quad (5)$$

Корак 4: Одређивање позитивног идеалног решења и негативног идеалног решења. Нека су I и J скупови индекса повезаних са скупом алтернатива и скупом критеријума, респективно. Позитивно идеално решење (PIS) A^+ и негативно идеално решење (NIS) A^- добијају се коришћењем следећих израза:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \{\max_{i \in I} v_{ij} | j \in J\} \quad (6)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{\min_{i \in I} v_{ij} | j \in J\} \quad (7)$$

Корак 5: Мерење удаљености свих алтернатива од PIS и NIS. За мерење удаљености сваке алтернативе од A^+ и A^- користи се Еуклидско растојање:

$$d_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$d_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Међутим, коришћење Еуклидског растојања може представљати проблем, јер се тежине критеријума користе два пута у прорачуну. Из израза (10) лако се може уочити да резултат одлучивања у многоме зависи од тежине критеријума.

$$\begin{aligned} d_1^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j \cdot s_{ij} - w_j \cdot s_j^+)^2} = \\ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (s_{ij} - s_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (10)$$

Овај проблем се може превазићи коришћењем Минковсковог растојања (L_p^w) применом формуле (11):

$$L_p^w(x, y) = \left[\sum_{j=a}^n w_j |x_j - y_j|^p \right]^{1/p} \quad (11)$$

где је w_j значај тежине поштујући j -ти критеријум и услов да је $p \geq 1$ (p – степен Минковсковог растојања). Треба имати на уму да Минковсково растојање L_p^w за $p=2$ представља пондерисано Еуклидско растојање.

На основу пондерисаног Еуклидског растојања, A^+ и A^- могу се дефинисати на следећи начин:

$$A^+ = \{s_1^+, s_2^+, \dots, s_n^+\} = \{\max_{i \in I} s_{ij} | j \in J\} \quad (12)$$

$$A^- = \{s_1^-, s_2^-, \dots, s_n^-\} = \{\min_{i \in I} s_{ij} | j \in J\} \quad (13)$$

где је $S=[s_{ij}]$ нормализована матрица одлучивања.

На основу пондерисаног Еуклидског растојања удаљеност сваке алтернативе од A^+ и A^- рачуна се помоћу израза (14) и (15):

$$d_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j |s_{ij} - s_j^+|^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$d_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j |s_{ij} - s_j^-|^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

Корак 6: Рачунање коефицијента релативне блискости и утврђивање ранга алтернатива. Коефицијент релативне блискости i -те алтернативе, RCC_i рачуна се помоћу израза (16):

$$RCC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (16)$$

На крају, рангирање алтернатива врши се према вредности коефицијента релативне блискости RCC_i .

4. ПРИМЕНА FUZZY TOPSIS МЕТОДЕ ЗА ИЗБОР ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА

Приликом избора оптималног модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране Републике Србије вредноване су три алтернативе, три варијанте модела стратегијског управљања транспортом.

За избор оптималног модела стратегијског управљања транспортом примењена је модификована fuzzy TOPSIS метода. Модификација се огледа у томе што је значај тежине критеријума утврђен истраживањем применом fuzzy Delphi методе, а не на начин како је то описано у раду.

Први корак у избору оптималног модела било је утврђивање критеријума за вредновање. Критеријуми и њихове релативне тежине утврђени су применом fuzzy Delphi методе [4], табела 1.

Табела 1: Критеријуми за вредновање модела

Критеријуми	Тежински коефицијент
Функционалност	0.226
Изводљивост	0.255
Трошкови имплементације	0.124
Флексибилност	0.288
Ризик имплементације	0.106

Имајући у виду да је вредности варијанти предложених модела било сложено нумерички исказати, доносиоци одлуке су значај сваког критеријума и вредност сваке алтернативе проценивали следећим скупом лингвистичких дескриптора: изузетно мала (very low – VL); мала (low – L); средња (medium – M); велика (high – H) и изузетно велика (very high – VH). У табели 2 приказана је почетна матрица одлучивања.

Табела 2: Почетна матрица одлучивања

Крит. Алт.	Доносиоци одлуке									
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀
C ₁	A ₁	L	H	VH	M	H	H	H	L	L
	A ₂	H	H	H	H	M	H	H	M	M
	A ₃	M	H	H	H	L	VH	VH	H	VH
C ₂	A ₁	VL	M	M	M	VH	M	M	H	M
	A ₂	M	H	H	M	M	M	M	M	L
	A ₃	VH	VH	VH	H	M	H	H	H	M
C ₃	A ₁	M	H	H	VH	L	H	L	L	VH
	A ₂	M	M	M	H	L	M	L	M	H
	A ₃	H	M	M	M	M	L	L	L	M
C ₄	A ₁	L	M	M	M	H	L	L	H	VL
	A ₂	H	H	H	L	H	L	L	H	L
	A ₃	H	H	H	H	M	M	H	VH	M
C ₅	A ₁	L	H	H	H	L	M	M	H	M
	A ₂	L	M	M	H	H	M	M	VH	M
	A ₃	L	M	M	M	H	L	L	H	M

На основу процене доносилаца одлуке, применом израза (3), израчуната је средња вредност процене алтернатива по критеријумима (табела 3).

Табела 3: Средња вредност процене доносилаца одлуке

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	5,767	5,200	5,733	4,433	5,200
A ₂	6,400	5,200	5,367	5,000	5,200
A ₃	6,900	7,100	4,233	6,733	4,433

У следећем кораку, применом израза (4), израчуната је нормализована матрица одлучивања (табела 4).

Табела 4: Нормализована матрица одлучивања

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	0,522	0,509	0,643	0,467	0,606
A ₂	0,580	0,509	0,602	0,527	0,606
A ₃	0,625	0,695	0,475	0,710	0,516

За утврђивање позитивног и негативног идеалног решења коришћено је пондерисано Еуклидско растојање. Применом израза (12) израчунато је позитивно идеално решење (A^+), а применом израза (13) негативно идеално решење (A^-), табела 5.

Табела 5: Позитивно и негативно идеално решење

A^+	0,625	0,695	0,643	0,710	0,606
A^-	0,522	0,509	0,475	0,467	0,516

На основу добијених резултата, применом израза (14) и (15) израчуната је удаљеност алтернатива од позитивног и негативног идеалног решења, а применом израза (16) израчунат је коефицијент релативне блискости (RCC). На основу израчунатог коефицијента релативне блискости утврђен је коначан ранг алтернатива (табела 6).

Табела 6: Ранг алтернатива по fuzzy TOPSIS методи

Алтернатива	d_i^+	d_i^-	RCC_i	Ранг алтернатива
A ₁	0,168	0,066	0,282	3
A ₂	0,138	0,068	0,330	2
A ₃	0,066	0,168	0,718	1

5. ЗАКЉУЧАК

Комплексно окружење у коме функционишу савремене организације, са све бројнијим и све сложенијим променама, условиле су измене у начину управљања организацијама и допринели развоју стратегијског управљања, као начина прилагођавања променама које настају у окружењу.

Ови захтеви постављени су и пред организације које се баве транспортом, па тако и пред транспортне јединице система одбране Републике Србије, које своје задатке извршавају у условима динамичног и променљивог окружења.

Како би се обезбедило правовремено прилагођавање променама у окружењу развијена су три модела стратегијског управљања транспортом од који је требало изабрати оптималан модел.

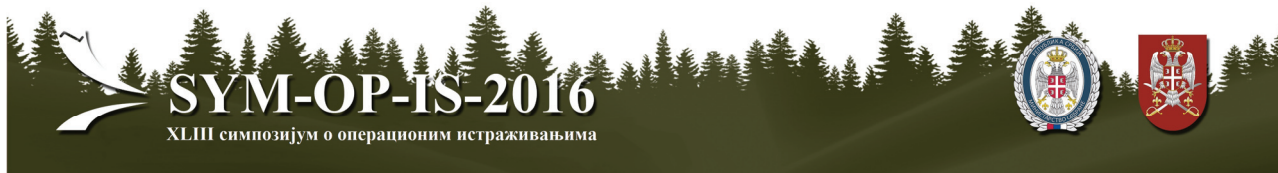
Природа проблема избора оптималног модела захтевала је виšekритеријумски приступ у вредновању алтернатива. Услед немогућности да се прецизно одреде вредности алтернатива по критеријумима примењен је fuzzy приступ, односно приказана је примена fuzzy TOPSIS методе за избор оптималног модела.

Применом fuzzy TOPSIS методе као оптималан модел, према утврђеним критеријумима, изабрана је алтернатива број 3 за коју је утврђен коефицијент релативне блискости 0,718. Изабрани модел омогућава формулисање и имплементацију одрживе стратегије развоја транспорта чиме се обезбеђује правовремено прилагођавање променама у окружењу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тодоровић, Ј, Ђурићин, Д. Јаношевић, С.: Стратегијски менаџмент, треће издање, Институт за тржишна истраживања, Београд, 2000.
- [2] Вешовић, В.: Менаџмент у саобраћају, Саобраћајни факултет, Београд, 2003.
- [3] Chi-Chun, L., Ding-Yuan C., Chen-Fang T., Kuo-Ming C.: „Service selection based on fuzzy TOPSIS method”, 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, IEEE Computer Society Washington, 2010.
- [4] Bojadziev, G., Bojadziev, M.: Fuzzy Logic for Business, Finance and Management, Word Scientific, Singapore, 2007.

РУДАРСТВО
И ГЕОГРАФИЈА



ПРИМЕНА МЕТОДА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА У ПРОЦЕСУ ИЗБОРА РОТОРНИХ БАГЕРА ЗА РЕМОТ

APPLICATION METHOD OF MCDM IN THE SELECTION PROCESS BUCKET- WHEEL EXCAVATOR MACHINES FOR REPAIR

МИЛИЦА ИВИЋ

Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, e-mail: milica.ivic@rgf.bg.ac.rs

ДЕЈАН ИВЕЗИЋ

Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, e-mail: dejan.ivezic@rgf.bg.ac.rs

Резиме: Системи за подршку у одлучивању, такозване вишекритеријумске методе могу бити веома корисне у циљу да се направи што је могуће објективнији и рационалнији избор понуђених алтернатива. У раду се истражује применљивост и ефикасност различитих метода. Размотрена је примена више метода: *Promethee*, *Electre*, *AHP*, *Topsis* и *Vikor*. Показана је примена наведених метода у процесу избора роторних багера за ремонт, рангирање алтернатива и указано је на разлике у рангирању алтернатива услед примене различитих метода.

Кључне речи: роторни багери, рангирање, вишекритеријумско одлучивање

Abstract: Systems for decision support, so-called multi-criteria methods can be very useful in order to make as much as possible objective and rational choice. This paper examines the applicability and effectiveness of different methods. The use of several methods is shown : *Promethee*, *Electre*, *AHP*, *Topsis* and *Vikor*. The application of these methods is shown in the selection process of bucket wheel excavator for repair, ranking alternatives and is pointed to the differences in the ranking of the alternatives due to the application of different methods.

Keywords: excavators machines, ranging, multi-criteria decision making

1. УВОД

Са порастом потрошње електричне енергије код крајних корисника дошло је до све веће експлоатације лигнита [1]. Роторни багери су машине које се користе на површинским коповима. Велика производња, велики број радних сати, степени искоришћења и многи други битни параметри оцене квалитета стања роторних багера су узети у обзир као репери приликом одлучивања и оцењивања стања роторних багера. Одржавање свих техничких система, у овом случају роторних багера, је од круцијалног значаја у сваком производном процесу. Адекватним одржавањем машина увек се очекује минимизирање трошкова, спречавање застаривања машинских делова и смањење отказа комплетних електро машинских подсистема. Тема овог рада се односи на компаративну анализу метода вишекритеријумског одлучивања (ВКО) на избор рударских машина за ремонт. Упоредном анализом метода ВКО доносилац одлуке је у могућности да увиди која од многобројних метода јесте најбоље решење за примену на конкретном практичном пробле-

му, због тога је компаративна анализа метода све чешћа тема истраживања [2].

2. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ

Примена метода вишекритеријумског одлучивања, како на математичким моделима, тако и на практичним моделима из различитих области, омогућила је дубљу анализу веома сложених система. Како би се олакшало вредновање система уводи се појам критеријума. Критеријум (грч. *kriterion*) примарно значи "основа за просуђивање" [3]. Критеријуми у моделу служе да се олакша вредновање понашања система и ефекта у односу на системе из околине. Након тачног дефинисања критеријума, на основу којих вршимо избор понуђених алтернатива неопходно је дефинисати и вредности преференција, тј. тежинских фактора. Тежински фактори јесу додатне променљиве којима се модификују већ постојеће вредности елемената по задатом критеријуму, тј. овим факторима се "отежавају" постојеће вредности елемената и самим тим добијају нове вредности истих. Матрица одлучивања је полазна матрица за примену метода вишекритеријумског од-

лучивања. Дефинисањем такве матрице доносилац одлуке приказује модел вишекритеријумског одлучивања. Општи запис ове матрице је:

$$O = \begin{matrix} & k_1 & k_2 & \cdots & k_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Свака вредност елемента x_{ij} матрице одлучивања зависи од i -те алтернативе a_i ($i=1\dots m$) и од j -ог критеријума k_j ($j=1\dots n$).

У домаћој и иностраној литератури говори се о већем броју метода одлучивања. За доношење коначне одлуке може се применити један од следећих поступака: 1-договарање, 2-оцењивање и 3-гласање [4]. Методе за вишекритеријумско одлучивање могу се груписати и према класама проблема које се решавају и поступку решавања. Развој ових метода уследио је са брзим развојем и применом информационалних технологија.

2.1 Promethee метода

Ова метода је развијена за вишекритеријумску анализу скупа елемената и примењивана је за рангирање алтернатива [4]. Метода се користи за избор оптималног решења у случају када постоји ограничен број алтернатива и у исто време више критеријума који међусобно нису сагласни. Promethee метода допушта да се директно оперише над променљивим унутар матрице одлуке и не захтева никакву врсту нормализације елемената [2]. Код овог поступка се уводи функција преференције, у ознаци $P(a,b)$ за све алтернативе, које су вредноване критеријумским функцијама. Функцијом преференције означава се степен значајности једне алтернативе над другом. Тип критеријумске функције која је изабрана у овој методи је јединична одскочна функција (обичан критеријум). Додељене вредности функцијама преференције износе 0 или 1. Сложеност вишекритеријумског проблема диктира тип релације преференције. Критеријуми на основу типа релације преференције су: обичан критеријум, квази критеријум, критеријум са линеарном преференцијом, ниво критеријум, критеријум линеарне преференције са подручјем и диферентности и Гаусов критеријум. Коначно рангирање алтернативе може бити парцијално (Promethee I) или потпуно (Promethee II).

2.2 Electre metoda

Метода Electre развијена је за парцијално уређене скупа решења на основу преференције доносиоца одлуке [4]. Примена ове методе подразумева нормализацију и отежавање матрице одлучивања. Процедура ове методе заснована је на формирању скупа сагласности и несагласности као и одговарајућих матрица чији су елементи из тих скупа. Индекс сагласности (IS), који се рачуна као сума тежинских коефицијената, узима вредност $0 \leq IS \leq 1$. Већа вредност овог индекса

указује да је једна алтернатива пожељнија у односу на другу. Елементи на главној дијагонали матрице сагласности и несагласности једнаки су нули јер се не врши поређење елемената самих са собом. Елементи матрице сагласне доминације и матрице несагласне доминације могу да имају само вредности 0 или 1. То је последица математичког услова који је дефинисан за формирање ових матрица. Услов за формирање матрице сагласне доминације гласи:

$$y_{s_{ij}} = 1 \text{ ако је } y_{ij} > PIS \quad (2)$$

$$y_{s_{ij}} = 0 \text{ ако је } y_{ij} < PIS$$

Где $y_{s_{ij}}$ представља елемент матрице сагласне доминације, y_{ij} је елемент матрице сагласности, PIS је

просечан индекс сагласности. На сличан начин се формира и матрица несагласне доминације. Производ елемената матрице сагласне и несагласне доминације одређује матрицу агрегатне доминације из чије се анализе може пронаћи алтернатива која доминира над свим другим алтернативама. На тај начин се долази до најприхватљивије алтернативе.

Примена методе Electra је препоручљиво код проблема са мањим бројем критеријума и алтернатива јер метода даје алтернативу којој треба дати предност или тек у неким посебним случајевима може да утврди малу подгрупу пожељних опција. Често се у последњем кораку поступка одлучивања јавља лични избор доносиоца одлуке [2].

2.3 АНР метода

Аналитички хијерархијски процес (АНР) креиран је за решавање комплексних проблема одлучивања који се заснивају на већем броју доносиоца одлука и већем броју критеријума. Овом методом се врши избор најприхватљивије алтернативе, тј. показује се потпуни поредак важности алтернатива у моделу [5].

У поређењу са другим методама, АНР показује боље практичне карактеристике што је од велике важности. Остале предности АНР методе су: структурирање проблема одлучивања и успешна симулација процеса доношења одлуке (дефинисање циља, критеријума, алтернатива и њиховог поређења), интеграција квантитативних и квалитативних фактора у одлучивању, указивање на неконзистентност доносиоца одлуке итд. Два најчешћа ограничења која се наводе су: недовољно велика скала за упоређивање елемената у паровима (ово се не односи на све проблеме одлучивања) и нису дозвољене алтернативе које није могуће упоређивати. Широки је спектар примене ове методе [6].

2.4 Topsis метода

Принцип на коме је заснована метода Topsis јесте да изабрана алтернатива треба да има најкраће растојање од идеалног решења и највеће растојање од најмање пожељног решења. Када се матрица одлучивања нормализује и изврши њено пондерисање добије се идеално решење за сваки критеријум. Идеално решење и најмање пожељно решење може се геометријски представити у вишедимензионалном простору у коме сваком критеријуму одговара једна координатна оса. Да-

кле, могуће је израчунати Еуклидско растојање алтернативе од идеалног решења и мање пожељног решења респективно. Дефинисање близине алтернативе идеалном решењу рачуна се према формули [2]:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^*)} \quad (3)$$

C_i^* представља “блискост”, S_i^- је Еуклидска удаљеност алтернативе од најмање пожељног решења док је S_i^* Еуклидска удаљеност алтернативе од идеалног решења. Опсег вредности C_i^* је интервал [0 1]. Коначно рангирање алтернатива врши се на основу вредности C_i^* коју свака од њих поседује.

2.5 Vikor метода

Решења која се добијају овом методом су компромисно решење и компромисна ранг листа. Компромисно решење може бити јединствено а може и представљати скуп блиских решења. Метода се фокусира на рангирању и селекцији из скупа алтернатива, и тако одређује компромисно решење за проблеме код којих критеријуми нису сагласни и на тај начин може да помогне доносиоцу одлуке да донесе коначну одлуку. Компромисно решење је оно решење које је најближе идеалном решењу. На основу најбољих вредности критеријума одређује се идеално решење. Ова метода укључује агрегацију и нормализацију. Разлика између Vikor методе и Topsis методе је та што решење према Topsis-у није увек оно решење које је најближе идеалном решењу. Индекс рангирања који се уводи заснива се на мери “блискости” идеалном решењу [4].

3. ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА

Списак рударске опреме, тј. роторних багера, чије рангирање у смислу потребе за ремонтом, треба извршити приказано је у табели 1.

Табела 1: Приказ роторних багера на површинском копу Колубара [1]

Ознака багера	Тип багера	Ознака багера	Тип багера
A1	SRs2000.32/5	A8	SchRs1760.32/5
A2	SchRs630.25/6	A9	SRs1200.22/2
A3	SchRs900.25/6	A10	SRs1200.24/4
A4	SchRs630.25/6	A11	SRs1200.24/4
A5	SchRs630.25/6	A12	SRs1200.24/4
A6	SRs1300.26/5	A13	SRs1200.24/4
A7	SchRs350	A14	SRs1200.24/4

Као битни критеријуми за рангирање су усвојени година почетка рада, укупна производња, време рада и капацитет искоришћења док су као мање битни критеријуми за рангирање предложени остварени капацитет и време искоришћења. Вредности тежинских фактора који су додељени сваком од критеријума приказани су у табели 2. Међутим, може се уочити да поједине алтернативе јесу високо рангиране у одређеним

методама. На слици 1. представљен је процентуални приказ првих шест најкритичнијих роторних багера, према тумачењу само првог и другог ранга свих пет коришћених метода. Предности коришћења више различитих метода огледа се у томе да је омогућено сагледавање већи број варијанти рангирања. Могућност детаљнијег тумачења овог проблема почива на анализи рангирања алтернатива применом више метода.

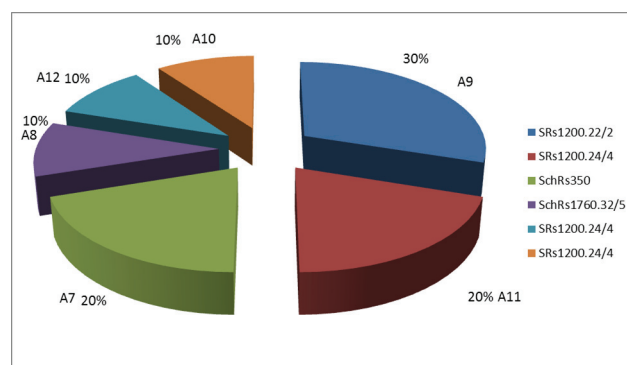
Табела 2: Приказ вредности тежинских фактора

Критеријуми	Тежински фактор
Година почетка рада	0.4
Укупна производња m^3, t	0.2
Време рада h	0.005
Остварени капацитет $m^3, t/h$	0.003
Време искоришћења	0.002
Капацитет искоришћења	0.3

У табели 3. приказано је рангирање алтернатива, тј. роторних багера применом метода вишекритеријумског одлучивања. Анализом приказаних резултата показало се да свака метода даје различито рангирање алтернатива. На овакво, различито, рангирање алтернатива нису утицале вредности тежинских фактора, с обзиром да су идентични у свим случајевима.

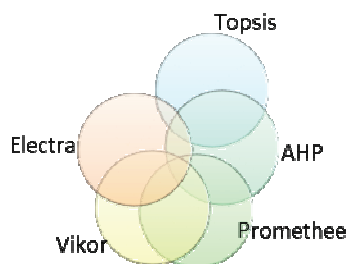
Табела 3: Приказ резултата рангирања роторних багера применом пет метода ВКО

Ранг	Promethee	Electre	AHP	Topsis	Vikor
1	A7	A9	A9	A11	A7
2	A9	A8	A11	A12	A10
3	A10	A3	A12	A14	A5
4	A5	A14	A14	A3	A2
5	A1	A1	A3	A13	A1
6	A2	A2	A13	A10	A6
7	A6	A4	A10	A4	A9
8	A4	A5	A4	A9	A4
9	A11	A12	A8	A5	A11
10	A13	A11	A6	A8	A13
11	A8	A6	A5	A6	A14
12	A14	A7	A1	A1	A12
13	A12	A10	A2	A2	A8
14	A3	A13	A7	A7	A3



Слика 1: Процентуални приказ првих шест најкритичнијих багера према методама Promethee, Electre, AHP, Topsis и Vikor.

Анализом добијених резултата видљиво је слагање и/или неслагање рангирања алтернатива које су ове методе дале. Комплетна сагласност између метода не постоји, али постоји сагласност на одређеним ранговима. Таквих доказа је много, нпр. Promethee и Electre метода имају исто рангиране алтернативе на петом и шестом месту. Сагласност између метода Electre и АНР постоји на основу исто рангираних алтернатива на првом и четвртном месту. Методе АНР и Topsis су сагласне на 12. 13. и 14. месту рангирања алтернатива. На слици 2. је приказано између којих метода постоји сагласност, наравно не потпуна, на основу рангираних алтернатива.



Слика 2: Симболички приказ сагласности метода вишекритеријумског одлучивања

Важно је напоменути да метода Topsis има изражену неслагањем са опцијама рангирања метода Vikor и Promethee, али на супрот томе постоји релативно сличан начин рангирања са методом АНР. Евидентна је сте чињеница да методе Electre и АНР су једине методе код којих постоји (делимично) поклапање са свим осталим методама, као и поклапање између њих самих. У општем случају, доносилац одлуке има могућност да се одлучи за две врсте рангирања или према методи Electre или према методи АНР. Искључење субјективне оцене доносиоца одлуке подразумева непримењивање рангирања према методи Electre, јер као што је познато метода даје само алтернативу којој треба дати предност, док метода АНР омогућује комплетно рангирање. Из тог разлога се АНР предлаже као оптимална метода за рангирање за овакву врсту проблема.

4. ЗАКЉУЧАК

Методе вишекритеријумског одлучивања јасно могу да помогну приликом решавања рангирања или избора алтернатива, као што је приказано на примеру роторних багера. Иако постоји обимна литература

која је посвећена овим методама готово је немогуће пронаћи одговор на питање коју од ових метода је најбоље применити на већ поменутом конкретном примеру, већ се до таквог одговора долази искуствено. Истакнута су ограничења, предности и недостаци примењених метода. Метода Promethee има јасан приступ проблемима одлучивања, где степен сложености зависи од тога како доносилац одлуке жели да расподели функције преференције свом моделу [2]. Метода Electre понекад није у могућности да пружи потпуно рангирање алтернативе. Vikor метода има најмањи број сагласних позиција алтернатива са методама Electre, Promethee и АНР. Најсличније варијанте рангираних алтернатива дале су методе АНР и Topsis. Electre и АНР су једине методе које могу да се пореде са било којом другом методом и додатно су упоредиве једна у односу на другу. Предложена метода за овакву врсту проблема је АНР метода. Предности АНР методе на овом примеру огледају се у њиховој способности да се носе са великим бројем критеријума и алтернатива, дају потпуно рангирање, резултати су јасни и оно што је најважније смањен је ефекат субјективне оцене доносиоца одлуке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Танасијевић М.: *Сигурност функционисања механичких компоненти роторног багера*, Докторска дисертација, РГФ, Београд 2007
- [2]. N. Caterino, I. Iervolino, G. Manfredi, E. Cosenza: *A COMPARATIVE ANALYSIS OF DECISION MAKING METHODS FOR THE SEISMIC RETROFIT OF RC BUILDINGS*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China
- [3]. Целебџић О.: *Теоријско-методолошке основе дефинисања критеријума и индикатора просторног развоја Србије*, Докторска дисертација, Географски факултет, Београд 2013
- [4]. Оприцовић С.: *Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Грађевински факултет, Београд, 1998
- [5]. Чупић М., В.М.Р. Туммала, Сукновић М.: *Одлучивање формалан процес*, ФОН, Београд, 2001
- [6]. Изет Хот: *Управљање изградом генералних пројеката у области инфраструктуре применом вишекритеријумске анализе*, Докторска дисертација, Факултет Техничких Наука, Нови Сад, 2014



САВРЕМЕНИ ПРИСТУПИ У УПРАВЉАЊУ РИЗИКОМ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

CONTEMPORARY APPROACHES IN RISK MANAGEMENT OF MACHINERY AT OPEN PIT MINES

СНЕЖАНА КИРИН

Иновациони центар Машинског факултета у Београду, skirin@mas.bg.ac.rs

МИЛОРАД ПАНТЕЛИЋ

РБ Колубара, Лазаревац, ФТН Чачак, milorad.pantelic@rbkolubara.rs

ИГОР МИЉАНОВИЋ

Рударско геолошки факултет у Београду, igor.miljanovic@rgf.bg.ac.rs

Резиме: *Управљање ризиком је постало императив обезбеђења стабилности и одрживости високоризичних система као што су рудници угља. Свако управљање ризиком садржи преглед извора и узрока настајања ризика, разматрање хипотетичких негативних последица изазваних могућом реализацијом конкретног ризика и разматрање конкретних акција које омогућавају минимизацију разматраног ризика. Код процеса у рударству највећа пажња концентрише се на управљање стручно-техничким ризиком. У овом раду су представљени савремени приступи у управљању ризиком рударских машина.*

Кључне речи: *рударство, ризик, машине.*

Abstract: *Risk management has become imperative to ensure stability and sustainability of high-risk systems, such as coal mines. Every risk management provides identification of the sources and causes of risks, assessment of a hypothetical negative consequences caused by the possible execution of specific risks and to consider concrete actions that allow minimizing the risks. In the process of mining, the most attention focuses on management of professional and technical risk. This paper presents modern approaches to risk management of mining machinery.*

Keywords: *mining, risk, machineries.*

1. УВОД

Успешно вођене организације се препознају по томе што усредсређују пажњу ка спречавању или бар ка смањењу ризика у својим процесима рада.

На краткорочном нивоу управљања ризиком се идентификује листа потенцијалних отказа и процењује вероватноћа њиховог дешавања и озбиљност њихових ефеката и на тај начин одређује приоритет акција корекције. Дугорочно, управљање ризиком развија концепције са циљем безбедног функционисања система при чему се дефинишу критеријуми за планирање управљања ризиком; обезбеђује се документација за будуће анализе поузданости у случају измене дизајна система и обезбеђује основа за планирање одржавања.

И поред савремених стратегија и алата у управљању ризиком несреће у рудницима угља се дешавају и у најразвијенијим земљама света. Табела 1 представља извод из извештаја о несрећама у рудницима угља у Америци у току 2015. године, [1].

Табела 1: Број смртних случајева и случајева повреда у рудницима угља у Америци у току 2015.год.

Фаталне повреде са смртним исходом	IR фатално	Повреде са боловањем	IR Повреде са боловањем	Повреде без боловања	IR Повреде без боловања
9	0,013	1.608	2.286	702	0,998

Стопа инцидената, IR (Incidence rates) представља број озледа које су се догодиле на сваких 200.000 сати рада.

IR се израчунава на следећи начин:

$$IR = \frac{\text{Broj povreda}}{\text{Broj sati rada}} \times 200.000 \quad (1)$$

Стопа инцидената и изгубљено време рада су веома важни показатељи за оцењивање перформанси безбедности и здравља. Уз помоћ података о изгубљеним радним данима, ризик се анализира у циљу његове квантификације и поређења за период проучавања.

По студији о несрећама у рудницима угља у кинеској провинцији Шандонг, [2], у којој је анализирано 320

инцидената у периоду од 2005. до 2010. године су главне категорије настанка инцидента:

- несигурно понашање оператора,
- несигурни услови опреме,
- несигурни услови околине и
- несигурни услови правила и прописа.

У Српским рудницима угља је значајан удео људског рада. На раднике се примењује закон о безбедности и здрављу на раду, [3], који ризик дефинише као вероватноћу настанка повреде, обољења или оштећења здравља запосленог услед опасности и који уводи акт о процени ризика као докуменат који садржи опис процеса рада са проценом ризика од повреда и/или оштећења здравља на радном месту у радној околини и мере за отклањање или смањивање ризика у циљу побољшања безбедности и здравља на раду. По истом закону процена ризика је систематско евидентирање и процењивање свих фактора у процесу рада који могу узроковати настанак повреда на раду, обољења или оштећења здравља и утврђивање могућности, односно начина спречавања, отклањања или смањења ризика.

2. РИЗИК ВЕЗАН ЗА МАШИНЕРИЈУ

Ризици повезани са машинеријом у површинском копу обухватају већи број ризика везаних за стање опреме и делова опреме. Може се рећи да се ризик везан за опрему највише манифестује кроз одржавање, [4]. Одржавање машина и опреме је процес у ком се користе инжењерска теорија и пракса у циљу планирања и реализације њиховог рутинског одржавања. Оно укључује: преглед, испитивање, сервисирање, поправку, обнову и рекламације, а некада и мониторинг.

Циљеви одржавања машинерије се обично дефинишу кроз захтеве да се обезбеди несметано функционисање рудника, да планиране активности не утичу на производни процес, да се обезбеди потребна расположивост машина и постројења, да се оптимизују трошкови одржавања и сл. Све ово мора да се уради уз оптимизацију оперативних процедура и поштовање буџета уз задатак постизања и одржавања највишег нивоа поузданости и профита. Трошкови одржавања су значајни и утичу на буџет индустријског система. Покушаји да се смањи ове трошкове су довели до развоја неколико стратегија одржавања.

Када се деси хаваријски квар, он често изазива оштећења на другим деловима система, чиме се значајно увећавају трошкови поправке. Потпуна елиминација кварова није могућа у пракси, међутим, овом циљу се може приближити адекватним системом одржавања.

На површинским коповима се користи се скупа опрема и машине и у зависности од њиховог типа и спецификација се дефинише модел одржавања. Одржавање укључује текуће одржавање, сервисно одржавање и ремонтно одржавање (углавном једном годишње). Треба истаћи да је одржавање скуп, поготово ремонт који се због тога назива и инвестиционо одржавање.

Концепција **корективног одржавања** је доминирала дуг период времена, а њени трошкови су релативно високи због непланираних застоја, оштећења система и прековременог рада. Ово је реактивни начин одржавања и зове се још и „рад до отказа”. Данас се сматра да ова концепција треба да чини само мали део савременог програма одржавања, пошто у неким ситуацијама, ипак, има смисла применити ову концепцију. Као пример може да послужи постројење у оквиру кога ради велики број сличних машина, чија поправка или замена није скупа. Када једна машина откаже, укључује се друга, а постројење није дуго у застоју.

3. КОНЦЕПЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА

Концепција **превентивног периодичног одржавања** представља напредак у односу на концепцију "рад до отказа". Ова концепција се понекад назива и одржавање засновано на "историји" јер се анализира претходно понашање сваког система, а периодично одржавање се планира тако да се спречи појава статистички очекиваних проблема. Примере представљају машине које су изложене хабању у зависности од века употребе (на пример, дробилице), као и машине које су изложене корозији (на пример, машине које раде у агресивним срединама). Превентивно периодично одржавање обухвата такве активности као што је замена мазива и филтера, периодична чишћења и контроле и др. Активности ове концепције одржавања могу бити планиране на основу: календарског времена (тзв. одржавање по датуму), радних часова машине, броја произведених делова, количине откопане јаловине или угља и др.

Концепција **предиктивног одржавања** је следеће унапређење концепције одржавања које се заснива на утврђивању стања машине у току њеног рада. Ова концепција одржавања се раније звала одржавање по стању. Концепција предиктивно одржавање се заснива на чињеници да ће већина елемената или склопова машине испољити неку врсту "упозорења" (симптома) пре сопственог отказа. Очитавање ових симптома путем којих машина упозорава оператора (одржаваоца), захтева неколико врста испитивања без разарања, као што су: анализа уља, хабање, анализа честица, анализа вибрација, анализа ударних импулса, мерење температуре и др. Примена ових испитивања ради одређивања стања машине резултује знатно успешнијим одржавањем у односу на могућности које су пружале раније концепције одржавања.

Предиктивно одржавање омогућава менаџменту да контролише багерске јединице и другу технолошку опрему и програм одржавања на површинским коповима. У предузећу које користи предиктивно одржавање, погонско стање багерских јединица је у сваком тренутку познато. То омогућује знатно прецизније планирање одржавања. Ова концепција одржавања багерских јединица користи различите технике, од којих су најзначајније: периодична анализа вибрација, анализа напонског стања, анализа температуре и анализа обртног момента.

Код машина које су предмет непрекидног мониторинга вибрација, оглашава се аларм чим се вибрације повећају преко унапред утврђеног нивоа. На тај начин спречава се ширење отказа. У одређеном броју стручних радова је доказано да, у односу на друге технике испитивања без разарања, анализа података о вибрацијама пружа највише информација о стању елемената или склопова система. Анализа уља и честица насталих хабањем су важне компоненте савремених планских програма, нарочито код критичне или веома скупе технолошке опреме. Термографија представља мерење површинске температуре инфрацрвеном детекцијом и од велике користи је код детектовања проблема у електро инсталацији (прекидачи), као и код других делова са отежаним приступом. Анализа криве струје мотора је веома корисна техника за детекцију напуклих или поломљених шипки ротора, и то током рада мотора. Такође, тестирање електричним ударима статора мотора може се искористити за детекцију почетне фазе отказа изолације.

Основна предност предиктивног одржавања машинске и електро опреме је њихова виша поузданост и расположивост, захваљујући дужем времену У РАДУ и краћем времену У ОТКАЗУ.

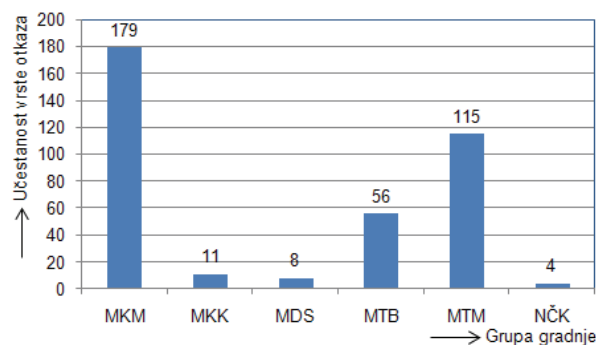
Једном утврђена стратегија одржавања није заувек дата, већ треба да се мења и прилагођава у складу са новим сазнањима, новим технологијама, са резултатима примене постојеће стратегије, са променама на тржишту и у окружењу, итд.

Године 1991. урађена је међународна анализа већине типова индустријских постројења, [5], и откривено је да су све наведене технике одржавања у примени и то у следећем обиму:

- Више од половине часова одржавања је потрошено на реактиван начин, вршећи хитне поправке у непланском периоду.
- Мање од 10% сати на одржавању је потрошено на превентивно одржавање.
- Мање од 40% активности на одржавању је планског карактера и
- Изузетно мало времена је потрошено на активне технике, између осталог и технике дијагностичких метода.

Разумно је да савремени програм одржавања обухвати елементе свих ових техника, а разлог за то је, између осталог, и економске природе.

Ради спровођења анализе поузданости, за роторни багер СРс 1200x24/4x0(400кW)+ ВР су издвојени подаци о временима У РАДУ и У ОТКАЗУ који су приказани у виду временских слика стања за сваку целину багера. На основу временских слика стања одређена је учестаност врста отказа по целинама и приказана у виду хистограма на слици 1.



Слика 1: Учесталост врста отказа по целинама за роторни багер СРс 1200x24/4x0(400 kW)+ВР [6].

Легенда:

- MKM - Механизам за копање материјала
- MKK - Механизам за кружно кретање
- MDS - Механизам за дизање стреле ротора
- MTB - Механизам за транспорт багера
- MTM - Механизам за транспорт материјала
- NČK - Носећа челична конструкција

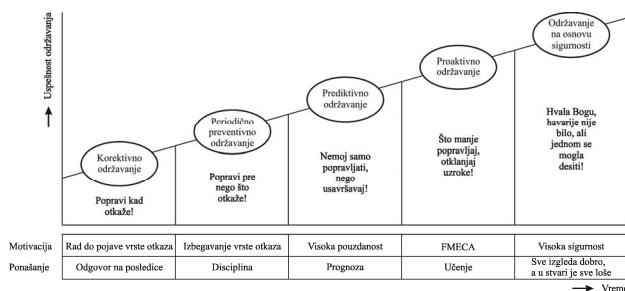
Иновација у односу на концепцију предиктивног одржавања је тзв. проактивно одржавање, које се назива и FMECA (Failure mode, effects and criticality analysis) којим се утврђује механизам и узроци појаве квара на систему. Ово одржавање обухвата разне методе и технологије којим се главни узроци појаве отказа на системима отклања, а механизми отказа се могу инжењерским приступом постепено елиминисати са сваке инсталације. Већ дуго времена је познато да су дебаланс и несаосност основни узроци већине отказа на ротацијским машинама. Оба ова узрока генеришу додатне силе на лежајеве, скраћујући њихов век. Значајно је бољи приступ прецизно балансирати и поравнати машину, укључујући верификацију са резултатима анализе вибрација, него непрестано замењивати похабане лежајеве.

Успешно проактивно одржавање током времена захваљујући корективним мерама, првенствено путем пројектно-инжењерских активности и реинжењеринга система, омогућује отклањање узрока нежељених догађаја који доводе до стања У ОТКАЗУ или до хаваријских стања. Једна од најзначајнијих особина ове концепције одржавања је, да се њене технике могу лако додати у постојеће концепције одржавања.

Када су у питању роторни багери на површинским коповима, последице неадекватне концепције одржавања могу бити катастрофалне. Од посебне важности је да се неадекватном концепцијом одржавања никако не смеју довести у питање сигурност, односно проузроковати стање хаварије роторних багера. Било које стање хаварије има за резултат угрожено здравље и живот персонала и велике економске губитке изражене кроз трошкове реинжењеринга и поновног покретања роторног багера. Из тих разлога је од прворазредног значаја дефинисање ефективне концепције одржавања анализирајући све утицајне елементе, од којих је најважнији - сигуран рад роторних багера на

површинским коповима! Према томе, највиши степен успешности одржавања система се не може замислити без концепције под називом "одржавање на основу сигурности".

Слика 2, [6], представља шему развоја концепција одржавања.



Слика 2: Фазе развоја концепција одржавања.

4. ЗАКЉУЧАК

Одржавању машинерије у системима високог ризика у које спадају рудници посвећује се све већа пажња. То је посебно наглашено око 2000. године интеграцијом одржавања са другим технолошким областима које су се развиле. Заједно, они омогућавају проактивније, ефективније, ефикасније, а тиме и, још економичније одрживо одржавање многих комплексних индустријских система.

Успешност одржавања система изузетно много зависи од концепције одржавања. Да би се повисила успешност одржавања, права концепција одржавања, тешко да се може усвојити као понуђена, него се она мора створити према актуелној ситуацији. Аутори значајних пројеката из предметног подручја сматрају да је погрешно концепцију одржавања система везивати за само један назив (корективно, превентивно периодично, предиктивно, проактивно) и по тим називима их препознавати. Много важније је шта се у ствари у задатку одржавања ради, какви су поступци, ресур-

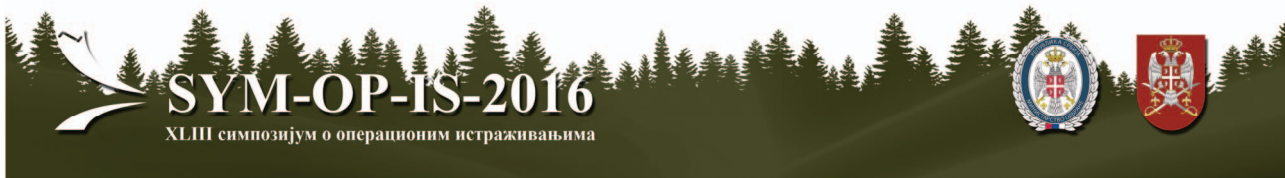
си, персонал (стручност, обученост, опремљеност, организација, мотивација). Број могућих варијанти примене концепције одржавања је веома велики, па је потребно да се одабере најприкладнија.

Битни елементи који су укључени у процес промена и развоја модела одржавања су више знања, више вештина, шире перспективе, побољшање квалитета и интеграција система контроле.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mine Injury and Worktime, Quarterly, U.S. Department of Labor Thomas E. Perez, Secretary, Mine Safety and Health Administration Joseph A. Main, Assistant Secretary, Program Evaluation and Information Resources Information Technology Center, Program Evaluation and Information Resources Information Technology Center, January–December 2015,
- [2] Yingyu Zhang, Wei Shao, Mengjia Zhang, Hejun Li, Shijiu Yin, Yingjun Xu, Analysis 320 coal mine accidents using structural equation modeling with unsafe conditions of the rules and regulations as exogenous variables, Accident Analysis and Prevention 92 (2016) 189–201
- [3] Закон о безбедности и здрављу на раду, Службени гласник РС бр. 101/2005, 91/2015, <http://www.overa.rs/zakon-o-bezbednosti-i-zdravlju-na-radu.html>
- [4] Kirin S., Pantelić M., Miljanović I., Risk management of machines in open pit mines, The Scientific Journal of the Society for Structural Integrity and Life, Beograd, Vol. 13, No 3, 2013, str.197-203
- [5] Јованчић П., Одржавање рударских машина, <http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/VIII%20semestara/Odrzavanje%20rudarskih%20masina/Predavanja/5.Predavanje.pdf>
- [6] Pantelić M., Papić Lj., Aronov J., Inženjerstvo održavanja i sigurnosti bagerskih jedinica, Istraživački centar DQM, Čačak, 2011., ISBN 978-86-86355-08-9, COBIDD.SR-ID 186327308

САОБРАЋАЈ, ТРАНСПОРТ И КОМУНИКАЦИЈЕ



AN OVERVIEW OF SAFETY THINKING AND ACCIDENT MODELING APPROACHES IN AIR TRANSPORT

FEDJA NETJASOV

Division of Airports and Air Traffic Safety
 University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering
 Belgrade, Serbia
 f.netjasov@sf.bg.ac.rs

Abstract: In the century-old history of aviation the safety thinking evolved gradually. Four eras are recognized in this evolution: technical, human, organizational and systemic era. Air transport system is a complex socio-technical system involving a complicated, interlinking distributed network of human operators, procedures and technical/technological systems. Safety of air transport system has traditionally been linked to accidents resulting in the significant loss of life and property and due to this it has always been considered an issue of greatest importance in the sector. Accident models are necessary in order to understand and analyze accidents. Based on accident causation principles, three types of accident models are defined: sequential (single causes, simple linear causation), epidemiological (multiple causes (latent), complex linear causation) and systemic accident models (complex outcomes (emergent), non-linear causation).

Keywords: Air Transport, Safety thinking, Accident Modeling.

1. INTRODUCTION

In the century-old history of aviation the safety thinking evolved gradually. Four eras are recognized in this evolution (Figure 1 [1; 2]):

- technical era;
- human era;
- organizational era; and
- systemic era.

The **technical era** is described as the era in which safety concerns were mostly related to technical factors. It started at the beginning of aviation (1900s), and spanned to the late 1970s, with great expansion around the 1950s when air transport emerged as a mass transportation industry. During this era the main focus of safety efforts was on the technical factors, i.e. on technological failures leading to safety breakdown [1].

With technological advances (such as jet engines, wide-body aircraft, radars, autopilots, flight directors, improved navigation and communications capabilities, etc.) air transport became a safer mode of transportation and technical era has been inherited by the **human era**. The human era began in early 1970s and lasted up to 2000s. The focus of safety efforts during this period was on human factors, human performance and human errors. The main feature of this era was focus on the individuals, with little or no attention “to the operational context in which individuals accomplished their missions” [1].

Since mid 1980s safety attention has further shifted because it was understood that “individuals do not operate in a vacuum, but within defined operational con-

texts”. This was the beginning of the **organizational era** in which “safety began to be viewed from a systemic perspective, to encompass organizational, human and technical factors” [1].

According to [1] “while at one time it was important to understand what?, who? and when?, increasingly it became necessary to understand why? and how? in order to fully understand safety breakdowns”. This cognition further led to emergence of the **systemic era** [2] in which complex interaction between human, procedures and equipment in certain operational environment (context) has becoming important from the safety aspect.

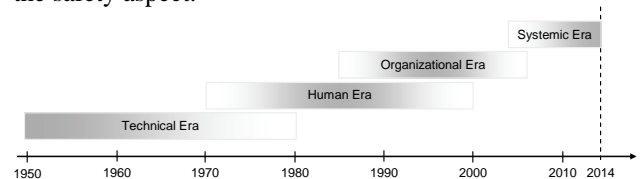


Figure 1. Evolution of safety thinking in air transport (based on [1, 2])

2. ACCIDENTS

An airplane accident is defined by [3, 4] as “an occurrence associated with the operation of an aircraft which, in the case of a manned aircraft, takes place between the time any person boards the aircraft with the intention of flight until such time as all such persons have disembarked, or in the case of an unmanned aircraft, takes place between the time the aircraft is ready to move with the purpose of flight until

such time as it comes to rest at the end of the flight and the primary propulsion system is shut down, in which:

- a person is fatally or seriously injured;
- the aircraft sustains damage or structural failure;
- the aircraft is missing or is completely inaccessible.”

Air traffic accidents have some features that distinguish them from accidents in other modes of transport as follows [5, 6]:

- they may occur at any point in time and space, mainly because flights may take place over large areas;
- the primary target groups exposed to the risk exposure are the passengers and crew; furthermore, individuals on the ground may be exposed but generally have a lower probability of loss of life or property;
- they are relatively rare events but usually with severe consequences;
- conditionally, each of them can be classified as an inherently high-risk although highly unlikely (but still possible) event; and
- risk of an accident is inherently present during the flight.

3. ACCIDENT MODELING APPROACHES

Air transport system is a complex socio-technical system involving a complicated, interlinking distributed network of human operators, procedures and technical/technological systems (Figure 2).

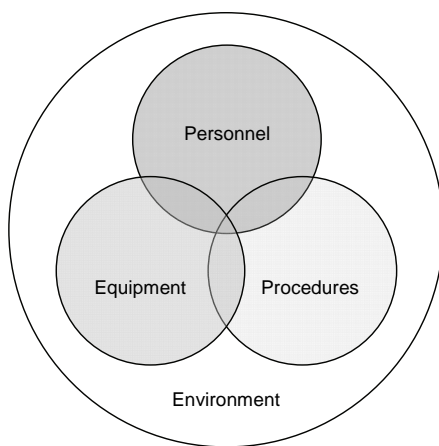


Figure 2. Air transport system structure [7]

This fact make difficult to provide a socially acceptable level of safety. Safety of air transport system has traditionally been linked to accidents resulting in the significant loss of life and property and due to this it has always been considered an issue of greatest importance in the sector [5, 6].

The main characteristic of complex systems, such as the air transport system, is that “accidents gradually develop over a period of time through a conjunction of several small failures, both machine and human” and

are “complex result of multiple, interacting factors” [8]. Accident models are necessary in order to understand and analyze accidents [9].

The purpose of accident models is to provide “a conceptualization of the characteristics of the accident”, to show the relation between causes and effects (consequences) [8] and to describe how accidents can occur and how they can be prevented [9].

This is why they can be used for [8, 10]:

- assessing risks associated with the system operation during system development;
- analyzing accidents, to understand and investigate the causes of the occurrence of an accident; and
- preventing future accidents.

Based on accident causation principles, three types of accident models are defined [9]:

- **sequential** accident models (single causes, simple linear causation);
- **epidemiological** accident models (multiple causes (latent), complex linear causation); and
- **systemic** accident models (complex outcomes (emergent), non-linear causation).

A. Sequential Accident Models

Sequential accident models, also known as event-based models, belong to so-called traditional approaches to accident modeling. They explain “accident causation as the result of a chain of discrete events that occur in a particular temporal order.” One of the earliest accident causation models is the *domino theory* proposed by Heinrich in the 1930s, [8, 11]. According to this theory there are five factors in the accident sequence [8, 11, 12]:

- social environment and inherited behavior (those conditions which make us take or accept risks);
- fault of the person (carelessness, recklessness);
- unsafe acts or conditions (poor planning, unsafe equipment, hazardous environment);
- accident (or incident); and
- injury (or loss).

These factors are “arranged in a domino fashion such that the fall of the first domino results in the fall of the entire row” [8]. This means that events (presented as domino’s) are linked together by direct relationships (linear and deterministic causation). An undesirable event initiates a sequence of events leading to an accident which implies that the accident is the result of a single cause [11].

According to [8, 11] those models “work well for losses caused by failures of physical components or human errors in relatively simple systems”. In addition to the domino model which considers only a single chain of events, there are also event-based accident models that can be represented by multiple sequences of events in the form of hierarchies such as event trees and networks [8, 11, 12]. Well known accident models

belonging to this class of models are failure modes and effects analysis (FMEA), failure modes and effects criticality analysis (FMECA), fault tree analysis (FTA), event tree analysis (ETA), cause-consequence analysis (CCA), etc. [8, 11].

B. Epidemiological Accident Models

Epidemiological accident models emerged in the 1980s, as a way of explaining accident causation in complex systems [8, 11]. According to those models accidents occurrence is “analogous to the spreading of a disease”, i.e. accidents are assumed to be “the outcome of a combination of factors, some manifest and some latent, that happen to exist together in space and time” [8]. This means that accidents are the result of multiple causes, i.e. a complex linear causation exists between the events.

One of the main representatives of this kind of models is James Reason’s “Swiss cheese” model. This model “has greatly influenced the understanding of accidents by highlighting the relationship between latent and immediate causes of accidents” [8]. The “Swiss cheese” model is based on the existence of different defenses, barriers and safeguards in the system presented as layers (Figure 3). They can be of different types: human, procedural, technical, organizational, institutional, etc. Although many layers of defense lie between hazards and accidents, there are flaws (holes or gaps) in each layer (some of them due to active failures while some due to latent conditions) that, if aligned, can allow the accident to occur [7].

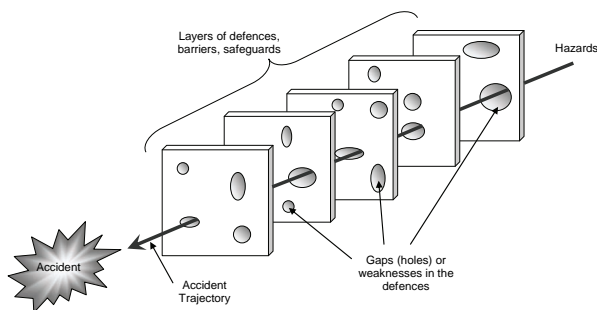


Figure 3. The Swiss cheese model [7]

C. Systemic Accident Models

Sequential and epidemiological accident models are both “found to be inadequate to capture the dynamics and nonlinear interactions between system components in complex socio-technical systems” [8, 11].

This is why a new type of accident models, known as systemic accident models, emerged. Contrary to sequential/epidemiological accident models, systemic accident models “describe an accident process as a complex and interconnected network of events” [8, 11] which mean that non-linear causation exists between the events. In this class of accident models, two modeling approaches stand out [7, 8]:

- Leveson’s *systems-theoretic accident model* and processes (STAMP [12]) model which is an

accident causality model based on system theory, and

- Hollnagel’s *functional resonance accident model* (FRAM [13]), which is a qualitative accident model based on the principles of cognitive systems engineering.

The Systems-Theoretic Accident Model and Processes Model

Leveson [10, 12] proposes a model of accident causation, known as systems-theoretic accident model and processes (STAMP) model, which considers the technical (both hardware and software), human and organizational factors in complex socio-technical systems.

Leveson’s approach is based on the application of system theory to accident analysis. According to [10] safety is viewed as a control problem, and “is managed by a control structure embedded in an adaptive socio-technical system”.

The STAMP model assumes that accidents in complex systems “do not simply occur due to independent component failures”; i.e. are not caused by a series of events, “but from inappropriate or inadequate control or enforcement of safety-related constraints on the development, design, and operation of the system” [8, 10]. The STAMP model is based on three basic concepts: safety constraints (instead of events), hierarchical safety control structure, and process models. It can be conducted in two stages [10]:

- development of the hierarchical safety control structure, which includes identification of the interactions between the system components and identification of the safety requirements and constraints; and
- classification and analysis of flawed control (constraint failures), which includes the classification of causal factors followed by the reasons for flawed control and dysfunctional interactions.

Bearing in mind that the basic component of STAMP is a constraint, accidents are assumed to be result of “interactions among components that violate the system safety constraints” [12, 14].

The Functional Resonance Accident Model

Hollnagel [14] emphasized that in cases “that accidents can arise from unexpected combinations of normal performance variability, then the assumption of causality must be partly abandoned” and “if accidents cannot always be linked to failures and malfunctions of components, then methods should not be restricted to causal explanations.”

The functional resonance accident model (FRAM) appears to be the alternative method for accident investigation. It is based on system functions description instead of on components or structures, i.e. on using functional resonance instead of causality, and by using

normal performance variability instead of malfunctioning. This means that non-linear causation exists between the events [14]. A function constitutes an activity or task which has important or necessary consequences for the state or properties of another activity [2]. FRAM is based on four principles [2, 13, 14]:

- the equivalence of success and failures,
- the principle of approximate adjustments,
- the principle of emergence, and
- the principle of functional resonance.

The method associated with FRAM proceeds along the following steps [13, 14]:

- Define the purpose of modeling and describe the situation being analysed (the purpose can be either risk assessment of accident investigation);
- Identify essential system functions and characterize each function by six basic parameters (input, output, time, control, pre-conditions, resources);
- Characterize the (context dependent) potential variability using a checklist (consider both normal and worst case variability);
- Define functional resonance based on possible dependencies (couplings) among functions; and
- Identify barriers for variability (damping factors) and specify required performance monitoring.

4. CONCLUSION

From the overview of accident modeling approaches it is evident that modeling of accidents is very important in air transport field and that was gradually evolved from simpler to complex models, following safety thinking evolution. One feature is unique for all modeling approaches – search for accident causes.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by the Ministry of Education and Science, Republic of Serbia, Project TR36033.

REFERENCES

- [1] ICAO Doc. 9859 (2013). Safety Management Manual (SMM), 3rd edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- [2] EUROCONTROL (2009). A White Paper on Resilience Engineering for ATM. European Organisation for the Safety of Air Navigation.
- [3] ICAO Annex 13 (2010). Aircraft Accident and Incident Investigation, 10th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- [4] ICAO Annex 19 (2013). *Safety Management*, 1th edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada
- [5] Netjasov F., Janic M. (2008a). A Review of Research on Risk and Safety Modelling in Civil Aviation, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 14, Issue 4, pp. 213-220.
- [6] Netjasov F., Janic M. (2008b). A Review of the Research on Risk and Safety Modelling in Civil Aviation, *Proceedings of 3rd International Conference on Research in Air Transportation (ICRAT 2008)*, USA, pp. 169-176.
- [7] Netjasov F. (2015). *Air Transport Safety: An Introduction*, Nova Science Publishers, NY, USA
- [8] Qureshi Z. (2007). A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Socio-Technical Systems. 12th Australian Workshop on Safety Related Programmable Systems (SCS'07), Australia.
- [9] Hollnagel E. (2010). *Introduction to FRAM: The Functional Resonance Analysis Method*. Mines Paris Tech, France.
- [10] Leveson N. (2001). *Evaluating Accident Models Using Recent Aerospace Accidents*. Massachusetts Institute of technology, USA.
- [11] Qureshi Z. (2008). A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Critical Sociotechnical Systems (DSTO-TR-2094). Department of Defence, Australian Government, Australia.
- [12] Leveson N. (2011). *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. MIT Press.
- [13] Hollnagel E. (2012). *FRAM - The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems*. Ashgate.
- [14] Hollnagel E. (2008). The Changing Nature of Risks. *Ergonomics Australia Journal*, Vol. 22, Iss. 1-2. pp. 33-46.



SIMULATION MODEL FOR PACKET LOSS CORRECTION IN VOIP SYSTEMS

HANA STEFANOVIĆ

School of Electrical and Computer Engineering of Applied Studies, Belgrade, stefanovic.hana@yahoo.com

VERICA VASILJEVIĆ

School of Electrical and Computer Engineering of Applied Studies, Belgrade, vvasiljevic@viser.edu.rs

Abstract: This paper provides a Simulink model for implementing the Internet Low Bitrate Codec (iLBC) for encoding and decoding speech signal via Voice over Internet Protocol (VoIP). An input Pulse Code Modulated (PCM) speech signal, sampled at 8 kHz with 16-bit samples, is converted into a stream of iLBC packets, which are sent through a simulated lossy channel, causing random packet loss. The Packet Loss Correction (PLC) is implemented in order to interpolate the speech for missing packet. The communication model is created in Simulink, a graphical extension to MATLAB. The comparison of original speech signal and decoded speech signal is also presented and discussed, while the frequency spectrum, periodogram and power spectral density estimation of decoded signal are also given.

Keywords: Internet Low Bitrate Codec (iLBC), packet loss rate, spectrogram, Voice over Internet Protocol (VoIP).

1. INTRODUCTION

Voice over Internet Protocol (VoIP) is the family of technologies that allows Internet Protocol (IP) networks to be used for voice applications such as telephony, teleconferencing and other multimedia sessions, requiring different compression techniques to reduce the signal bandwidth [1]. For efficiency, VoIP is often implemented using the lightweight but unreliable User Datagram Protocol (UDP), while the packet loss correction is needed to maintain received voice quality over lossy networks [2].

VoIP data packets transmitted through a packet-switched network such as the Internet, are decompressed at the destination, using a compatible codec (audio coder/decoder) and converted back to analogue audio [3], [4]. This paper provides the Simulink model for VoIP network.

VoIP uses the Real-time Transport Protocol (RTP) to help ensure that packets get delivered in a timely way [5]. Using public networks, it is currently difficult to guarantee Quality of Service (QoS) [6]. Better service is possible with private networks managed by an enterprise or by an Internet telephony service provider (ITSP).

Internet Low Bitrate Codec (iLBC) is a free speech codec suitable for robust voice communication over IP [7]. The codec is designed for narrow band speech and results in a payload bit rate of 13.33 kbit/s with an encoding frame length of 30 ms and 15.20 kbit/s with an encoding length of 20 ms. The iLBC enables graceful speech quality degradation in the case of lost frames, which occurs in connection with lost or delayed IP packets [8]. In this paper 13.33 kbit/s data rate is used.

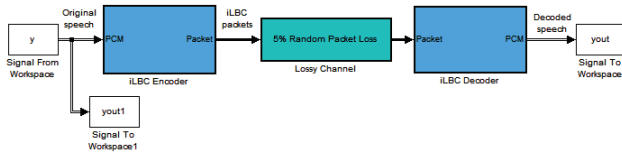
iLBC also provides a framework for easily implementing Packet Loss Correction (PLC) systems, since the Internet transmission is subject to random delays in routing information in real-time, which renders many packets useless to the iLBC decoder [7]. The job of a PLC is to interpolate the speech for missing packets based on the packets before and immediately after the missing one. In this paper a simple PLC for demonstration purposes is implemented, while some specific PLC algorithms are available in literature.

Unlike of other applications, VoIP can tolerate some packet loss, but none jitter is allowed [9]. In receiver side of VoIP systems, the audio samples must be played as a continuous stream. This is a challenging process because IP present delay variation (or jitter), this phenomenon results in increase on packet loss rate whenever a packet is received after playout time [10]. The receiver audio application uses a de-jitter buffer that insert an artificial delay (called Buffer Delay) to reduce this effects [6], resulting in a controlled packet loss rate that enable a greater communication quality. But long buffer delays can reduce the voice quality in interactive audio applications.

In this paper, Packet Loss Correction (PLC) is implemented in order to interpolate the speech for missing packet. The communication model is created in Simulink, a graphical programming environment built inside MATLAB [7]. The comparison of original (transmitted) speech signal and decoded (received) speech signal is also presented and discussed, while the frequency spectrum, periodogram and power spectral density estimation of decoded signal are also given, for different values of packet loss rate. Representation of original and decoded signal in time domain and corresponding frequency spectrum are also provided.

2. VOIP SYSTEM MODEL

System model created in Simulink is presented in Fig. 1.



Picture 1: System model

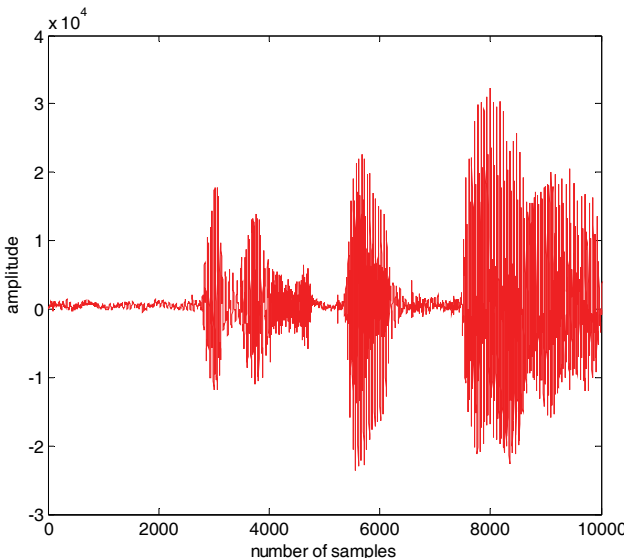
The iLBC standard [8], defined for two data rates: 13.33 kbit/sec and 15.20 kbit/sec, is used. Running under 13.33 kbit/sec, the encoder creates and outputs a compressed speech packet every 30 ms, while with the 15.20 kbit/sec data rate, the encoder will output a packet every 20 ms. For the 13.33 kbit/sec mode, the packet size is a uint8 column vector of length 50, where each element represents one byte. For the 15.20 kbit/sec mode, the packet is of length 38 bytes. In this paper 13.33 kbit/sec data rate is proposed.

The basic operation is to load a speech signal and convert it to a stream of iLBC packets, after passing through the iLBC Encoder block, as it is presented in Fig. 1. The packets are sent through a simulated lossy channel, which causes random packets to be set to all zeros. Finally, the packets are sent to the iLBC Decoder block and converted back into a speech signal, which is then played and its waveform is plotted. The data transmission rate is set to 13.33 kbit/sec, while double precision for all internal calculations in the encoder and decoder is used.

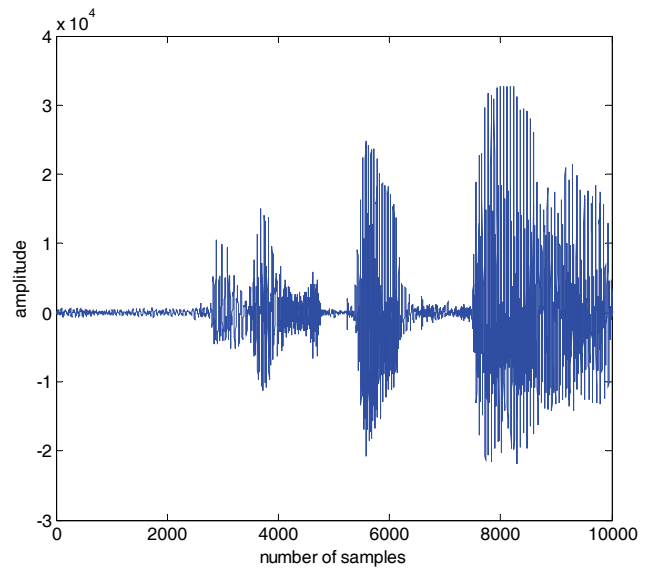
iLBC also provides a framework for easily implementing Packet Loss Correction (PLC) systems, in order to interpolate the speech for missing packets [7].

3. COMPARISON OF TRANSMITTED AND RECEIVED SIGNAL

The original speech signal is plotted in Fig. 2, while the decoded speech signal is plotted in Fig. 3, for 5% packet loss rate.

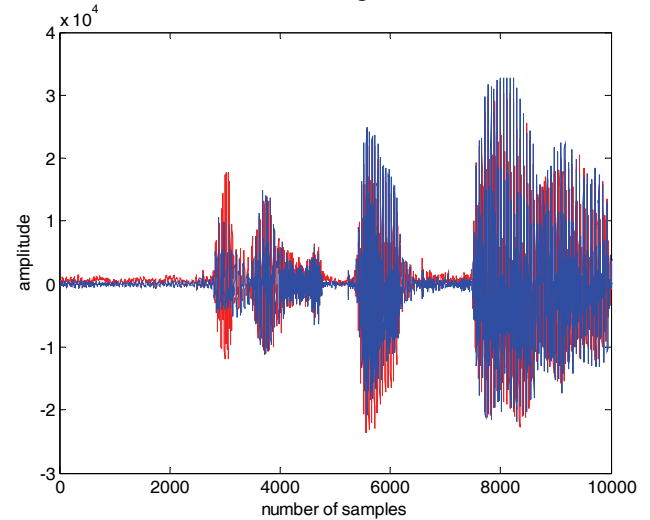


Picture 2: Original (transmitted) signal waveform

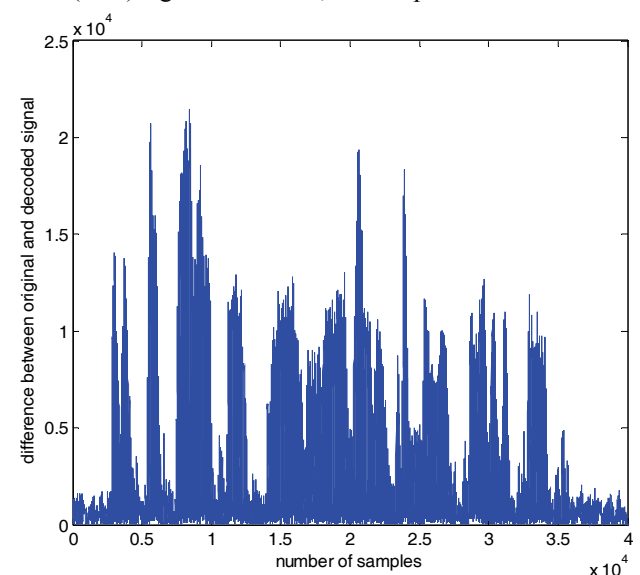


Picture 3: Decoded (received) signal waveform

The comparison of original (red) and decoded (blue) speech signal is presented in Fig. 4, while the difference between them is illustrated in Fig. 5.

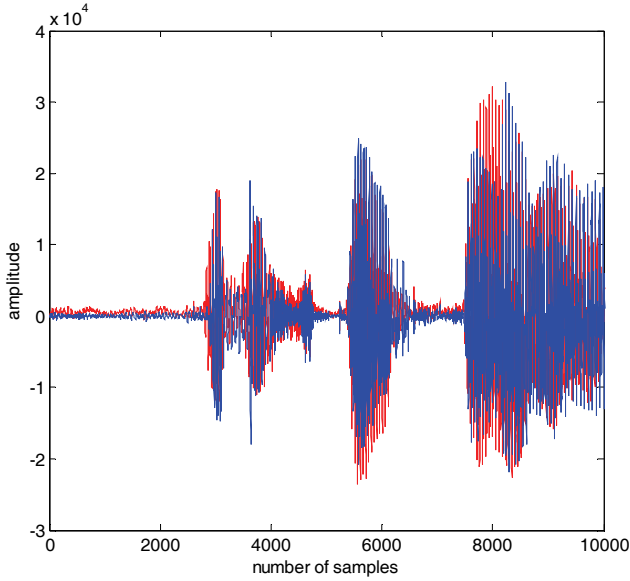


Picture 4: Comparison of original (red) and decoded (blue) signal waveform, for 5% packet loss rate

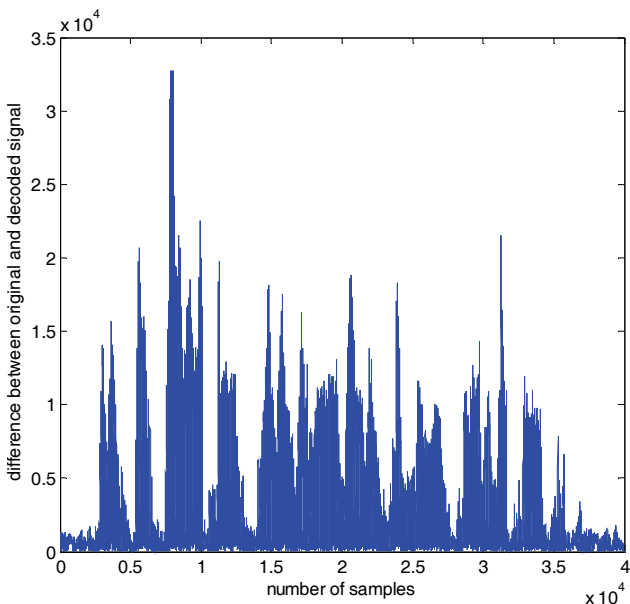


Picture 5: Difference between original and decoded signal versus number of samples

The comparison of original (red) and decoded (blue) speech signal for 20% packet loss rate is presented in Fig. 6, while the difference between original and decoded signal is plotted in Fig. 7.



Picture 6: Comparison of original (red) and decoded (blue) signal waveform, for 20% packet loss rate



Picture 7: Difference between original and decoded signal versus number of samples

Signal error for 20% packet loss rate (presented in Fig. 7.) has higher values than signal error for 5% packet loss rate (presented in Fig. 5.). It can be also concluded that up to 10% packet loss results in decoded speech signal errors which are not audible, while packet loss rates above 20% will result in decoded speech signal with clearly audible errors.

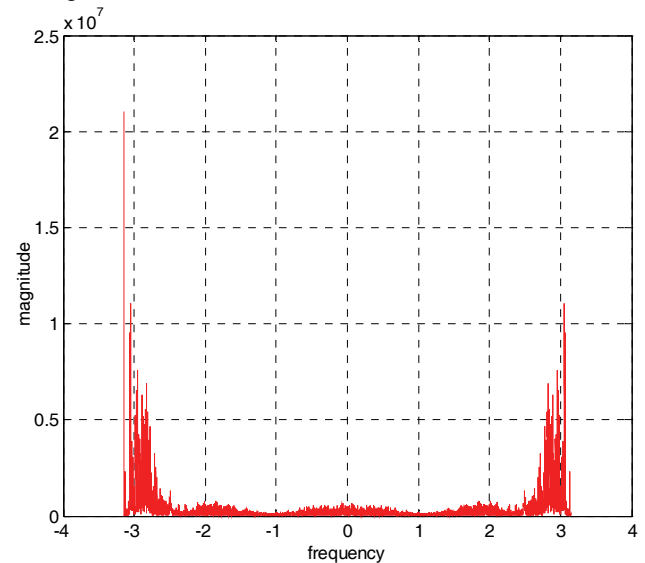
iLBC provides a framework for easily implementing Packet Loss Correction (PLC) systems, in order to interpolate the speech for missing packets based on the packets before and immediately after the missing one, but

for high packet loss rates the signal errors are clearly audible.

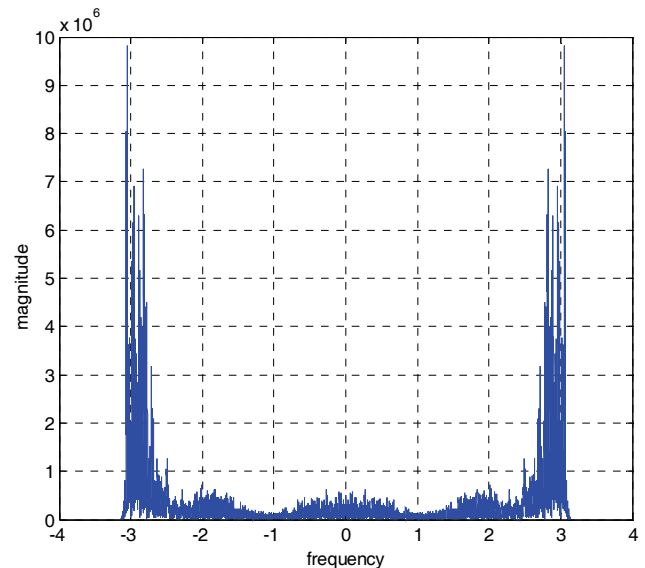
It can be also concluded that iLBC keeps the shape of the input signal in spite of the high packet loss rate, thanks to PLC techniques, making this codec more appropriate for packet-switched networks. The decoded packets are still intelligible even for high packet loss rate, like 50% or more, but the errors are audible.

4. SPECTRAL CHARACTERISTICS OF TRANSMITTED AND RECEIVED SIGNAL

The frequency spectrum of the windowed original signal is plotted in Fig. 8. and for decoded signal in Fig. 9, for 10% packet loss rate.



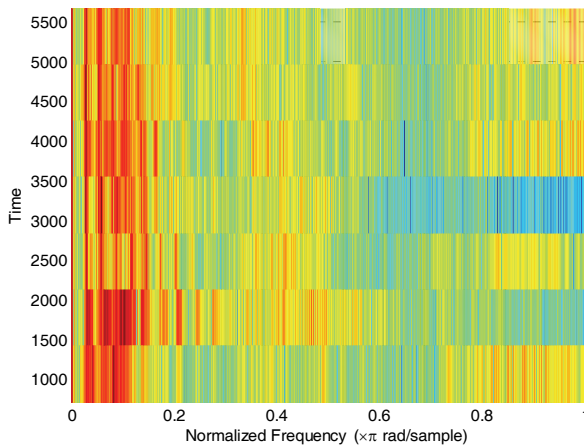
Picture 8: Original (transmitted) signal spectrum



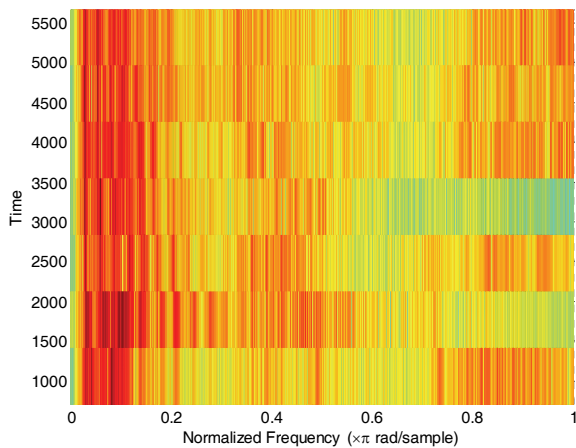
Picture 9: Decoded (received) signal spectrum

A spectrogram, which gives a visual representation of the spectrum of frequencies in speech signal as they vary with time, is illustrated in Fig. 10. and Fig. 11, for original (red) and decoded (blue) signal, respectively, for 10% packet loss rate.

A periodogram power spectral density estimate is given in Fig. 12. and Fig. 13. for original and decoded signal, respectively, for 10% packet loss rate.

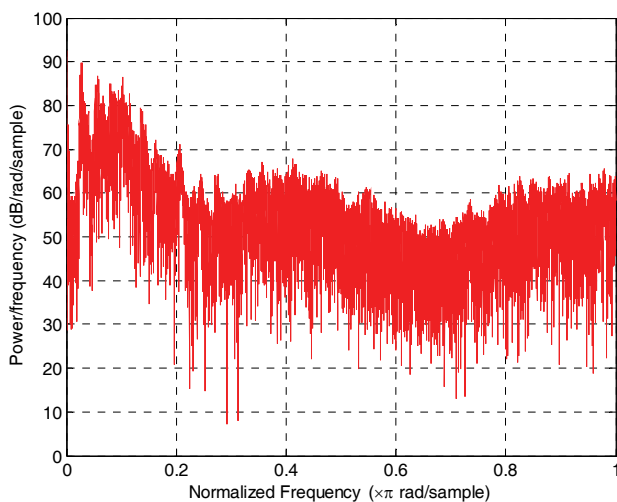


Picture 10: Spectrogram of original (transmitted) signal

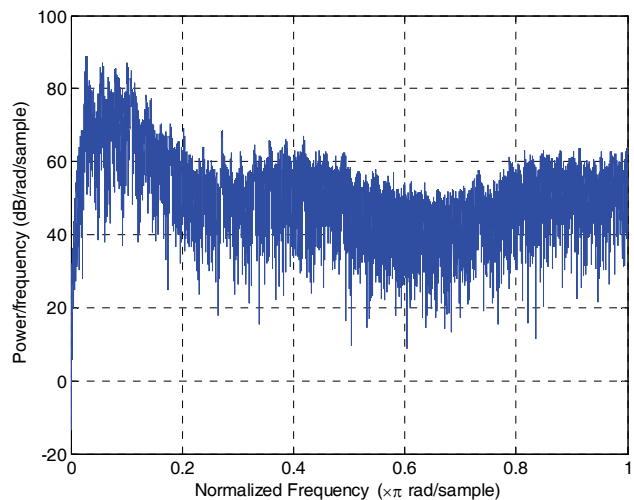


Picture 11: Spectrogram of original (transmitted) signal

Spectrogram and periodogram power spectral density estimate presented in Fig. 10 and Fig. 12. for original signal, and also in Fig. 11. and Fig. 13. for decoded signal, show a graph of the energy content of a signal expressed as function of frequency and time. Spectrogram is calculated from the time signal via Fast Fourier Transform (FFT), using built-in function `fft(x, N)` in MATLAB, with N computation points.



Picture 12: Periodogram of original (transmitted) signal



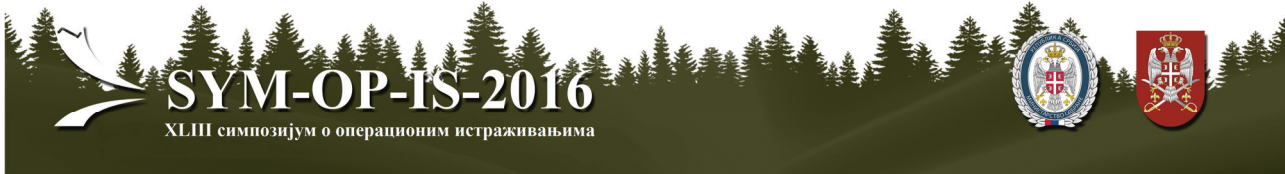
Picture 13: Periodogram of decoded (received) signal

5. CONCLUSION

Experimental and numerical results presented in this paper show that up to 10% packet loss rates in VoIP system simulated in MATLAB/Simulink environment result in decoded speech signal errors which are not audible, while packet loss rates above 20% result in decoded speech signal with clearly audible errors, requiring some additional packet loss concealment.

REFERENCES

- [1] Goode, B., "Voice Over Internet Protocol (VoIP)", *Proceedings of the IEEE*, 90(9) (2002) 1495-1517.
- [2] Hersent, O., *IP Telephony: Deploying VoIP Protocols and IMS Infrastructure*, West Sussex, UK: Wiley, 2011.
- [3] Singh, H.P., Singh, S., Singh, J., "Computer Modeling & Performance Analysis of VoIP under Different Strategic Conditions", *Proc. of IEEE Int. Conf. On Computer Engineering and Applications (ICCEA)*, (2010) 611-615.
- [4] Nagireddi, S., *VoIP Voice and Fax Signal Processing*, 1st ed. Wiley Publishing, 2008.
- [5] Perkins, C., *RTP: Audio and Video For The Internet*, Addison Wesley, 2012.
- [6] Qiao, Z., Venkatasubramanian, R.K., Sun, L., Ifeachor, E.C., "A new buffer algorithm for speech quality improvement in VoIP systems", *Wirel. Pers. Commun.*, 45(2) (2008) 189-207.
- [7] <http://www.mathworks.com/help/dsp/examples/voice-over-ip-voip-1.html>
- [8] <http://www.ilbcfreeware.org/>
- [9] Mayorga, P., Besacier, L., Lamy, R., Serignat, J.-F., "Audio packet loss over IP and speech recognition", *Proc. of IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU)*, (2003) 607-612.
- [10] Sakuray, F., Hoto, R.S.V., Mendes, L.S., "Analysis and estimation of playout delay in VoIP communications", *Int. J. of Computer Science and Network Security*, 8(3) (2008) 98-105.



BINARY ASSIGNMENT OPTIMIZATION-BASED MODEL FOR TACTICAL AIR TRAFFIC FLOW MANAGEMENT SLOT ALLOCATION

NIKOLA IVANOV, FEDJA NETJASOV
Division of Airports and Air Traffic Safety
University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering
Belgrade, Serbia
n.ivanov@sf.bg.ac.rs, f.netjasov@sf.bg.ac.rs

Abstract: To compensate for anticipated delays and improve on-time performance, Aircraft Operators usually embed a buffer time in their schedules strategically, but also have the flexibility to fine tune their departure times on the day of operations (tactically). In Europe, one of the instruments at the Network Manager's disposal to tackle demand-capacity imbalance is to impose ground, i.e. Air Traffic Flow Management – ATFM, delays to flights. The current practice for assigning ATFM delays does not take into account whether flights have any remaining schedule buffer to absorb ATFM delay and potentially reduce delay propagation to subsequent flights. Furthermore, the policy presently employed is to minimize ATFM delays, an order of magnitude of half a minute per flight on average, while propagated delays are approximately ten times higher. We explore the possibility to use ATFM delay as a tool to minimize delay propagated to subsequent flights, but also to increase flights' adherence to airport slots at coordinated airports.

Keywords: Air Traffic Flow Management, schedule buffer, propagated delay, airport slot adherence, performance.

1. INTRODUCTION

Airspace and airport congestion is an inherent problem in Europe, often resulting in substantial flight delays, re-routings and even cancellations. In general, congestion can be tackled from both demand and capacity side: increasing capacity to match the demand and/or managing demand according to the available capacity.

Capacity expansion is seen as a long term solution to cope with increasing demand [1]. It is associated with major costs [2], a great deal of which is passed on to airspace users, which in turn may have a negative feedback on demand [3]. There are also very limited options to increase capacity at a short notice, yet, Air Navigation Service Providers (ANSPs) have to operate flexibly to cope with various aspects of traffic variability and predictability and deliver a certain (required) level of service [1]. This usually leads to incorporating substantial and costly capacity buffers into ANSP planning decisions [4]. Therefore, a common short-term remedy to capacity shortfalls is focused on the demand side of inequality: regulating traffic demand through administrative or economic measures [5].

The Network Manager (NM), central figure of European Air Traffic Management (ATM), has a number of options at disposal to tackle demand-capacity imbalance. One of them is to apply a regulation, i.e. to limit the maximum rate of aircraft entering either a regulated volume of airspace or airport. Flights subject to regulation are assigned new take-off times, through ATFM (time) slots, and as a consequence some flights are (ATFM) delayed.

The NM takes account of ANSP capability to accommodate additional demand (capacity buffers) in the process of demand-capacity balancing. However, it does not make use of potential “demand-side buffers”.

Namely, Aircraft Operators (AOs) embed time buffers in their schedules with primary intention to strategically compensate for (a portion of) tactically anticipated delays, while maintaining the on-time performance of flights and the operational reliability of schedules [6]. For instance, an AO published schedule (strategic) for an airport pair could be 10:00 to 12:00, while the actual gate-to-gate time (tactical) is 1:30 only, leaving 30 minutes as a buffer. If this flight was affected only by a 30 minute ATFM departure delay, it would still arrive on time since ATFM delay is ‘absorbed’ within strategically allocated buffer and is not propagated to the subsequent flight.

This study examines the possibility to systematically use (remaining) schedule buffer to minimize propagated delay to subsequent flights caused by ATFM delay.

We propose a binary assignment optimization-based model for the ATFM slot allocation process and an algorithm to further improve airport slot adherence at slot coordinated airports.

The objective of this research is to account for stakeholders' different perspectives of congestion problem, in terms of business and operational needs, and to bring the proposed methodology closer to dealing with real-life instances of the problem.

2. BINARY ASSIGNMENT OPTIMIZATION-BASED MODEL

A. Modelling framework

Presently, the cost of strategically allocated buffer (time) is much lower to AOs than the cost of tactical delay [1]. Moreover, delay propagation starts in the morning and postponing this early start might lower total delay at the end of the day [7]. AO focus on schedule adherence in the morning [8] and assuming that majority of early rotations still have schedule buffers at large [9], it is reasonable to test proposed methodology for an early morning regulation.

More than 10% of flights in Europe arrive more than 15 minutes ahead of schedule [7]. Major reasons for early arrivals are longer schedule buffers and more direct routings once flights are airborne, but there is still a share of flights (1%) departing 15 minutes ahead of schedule [7]. Flexibility to tactically shift desired take-off time much earlier than strategically planned could also cause congestion problems at airports already operating at their capacities [7]. Targeting these ‘early filers’ could improve airport slot adherence. Similarly, for regulated flights with excessive schedule buffers, flow manager could impose additional ATFM delay to bring them closer to their airport slot times, thus increasing predictability without generating any propagated delay.

B. Assumptions and model formalization

Consider an en-route sector regulation R , starting at R_{Start} and ending at R_{End} (in hours), with a rate C_R defined as a number of flights per hour. Number of ATFM slots with capacity of one flight is then calculated as:

$$N_S = C_R \cdot (R_{End} - R_{Start}) \quad (1)$$

ATFM slots $S = \{1, \dots, N_S\}$ are defined with their start time L_i and end time U_i , where

$$L_i = R_{Start} + (i - 1)/C_R, i \in \{2, \dots, N_S\}, L_1 = R_{Start} \quad (2)$$

$$U_i = L_i + 1/C_R - 1, i \in \{1, \dots, N_S\}, U_{N_S} = R_{End} \quad (3)$$

In practice, regulations are inherently dynamic and any of the parameters could change between the moment of regulation activation and ending (regulation could even be cancelled). We assumed that once defined and applied, the regulation remain as is.

Based on filed flight plan (FPL) and calculated flight profile, the NM’s FPL processing system estimates time over the regulated location (ETO_f) for each regulated flight $f \in F^R$, where F^R is a set of regulated flights. A list of feasible ATFM slots for a flight f is a subset of the slot list S defined as $S^f = \{i: ETO_f \leq U_i\}$, i.e. a flight can be assigned to any slot which ends after the estimated time over the regulated location.

We assume the realization of flights as planned, without flights’ cancelation. For each flight, we randomly assign schedule buffer SB_f . Note that strategically planned schedule buffer could be tactically increased by filing

estimated off-block time ($EOBT$) earlier than scheduled time of departure (STD) or decreased if the flight is already delayed. ATFM delay d_{fi}^A and propagated delay d_{fi}^P for each flight are calculated ($\forall f \in F^R, \forall i \in S^f$), respectively,

$$d_{fi}^A = \max(ETO_f, L_i) - ETO_f \quad (4)$$

$$d_{fi}^P = \begin{cases} 0, \max(ETO_f, L_i) - ETO_f - SB_f \leq 0 \\ \max(ETO_f, L_i) - ETO_f - SB_f, otherwise \end{cases} \quad (5)$$

If a delayed flight f still arrives earlier than scheduled, it does not generate propagated delay to the next flight, therefore d_{fi}^P is set to zero. We assume that ATFM delay is the only delay flights experience on departure without any primary or reactionary delays from previous flights.

Let x_{fi} be a binary decision variable, which takes value 1 only if a flight f is allocated to slot i and 0 otherwise. Minimizing propagated delay (MINP) is now assignment problem formulated as follows:

Minimize

$$\min \sum_{f \in F^R} \sum_{i \in S^f} d_{fi}^P x_{fi} \quad (6)$$

Subject to

$$\sum_{f \in F^R} \sum_{i \in S^f} x_{fi} \leq 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S^f} x_{fi} = 1, \forall f \in F^R \quad (8)$$

$$x_{fi} = 0 \vee 1, \forall f \in F^R, \forall i \in S^f \quad (9)$$

Objective function (6) seeks optimal assignment of regulated flights to ATFM slots to minimize propagated delay. Note that replacing d_{fi}^P with d_{fi}^A ATFM delay is minimized. Constraint (7) prevents assigning more than one flight to a single ATFM slot, while (8) ensures that all the regulated flights are allocated to one ATFM slot. Last constraint (9) limits the decision variable to binary values only.

This methodology stands for flights subject to one regulation only; the case considered in this study. Flights subject to multiple regulations are assigned ATFM delay of the most penalizing regulation and are forced through other regulations with the most penalizing delay.

Some regulated flights could be further delayed to improve airport slot adherence at a coordinated airport(s), assuming the airport would benefit from such a measure. We define airport slot adherence for a flight as the difference between tactically and strategically planned flight times, assuming that airport slot and published schedule coincide. For a regulated flight departing from a slot coordinated airport, airport slot adherence (a_f) is defined in a similar manner as

$$a_f = STD_f - CTOT_f \quad (10)$$

where $CTOT$ is calculated take-off time, i.e. estimated take-off time ($ETOT$) with added ATFM delay based on the allocated ATFM slot i

$$CTOT_f = ETOT_f + d_{fi}^A \quad (11)$$

For a regulated flight arriving at a coordinated airport, a_f is defined as

$$a_f = STA_f - CTA_f \quad (12)$$

where STA is scheduled time of arrival while CTA is calculated time of arrival, i.e. estimated time of arrival (ETA) plus ATFM delay

$$CTA_f = ETA_f + d_{fi}^A \quad (13)$$

We observe a_f in absolute terms: the lower a_f , the higher airport slot adherence, as flights depart or arrive closer to planned schedules. An approach to increase airport slot adherence (APSA) is proposed.

After a slot allocation (6) – (9) is carried out, a list of flights subject to en-route sector regulation operating to/from a selected coordinated airport is created. From the list, regulated flights remaining a buffer time (r_f^P) in their schedule are considered, i.e. all the flights $f \in F^R$, satisfying $r_f^P = SB_f - d_{fi}^A > 0$, where i is the ATFM slot allocated to the flight f . These flights are sorted in descending order of a_f . For the flight with highest a_f we increase ATFM delay (with discrete time unit), minding that a flight cannot overtake already allocated ATFM slot, to lower a_f until one of the following conditions is met, in the following order of priority:

- 1) no schedule buffer remains for the flight: $r_f^P = 0$ or
- 2) airport slot adherence is maximized for that flight $a_f = 0$ or
- 3) any additional ATFM delay will lead to moving the flight to already allocated ATFM slots.

The same procedure is carried for all the remaining flights in the list. All the flights with remaining buffer are sorted in the descending order of a_f , and the process is repeated until at least one of the conditions is met for all the flights considered. Note that some of the regulated flights with remaining schedule buffer could be moved to another free ATFM slot, freeing the initially allocated ATFM slot (note that optimality of (6) - (9) still holds). We test the model (MINP and APSA) on a realistic example of en-route sector regulation and benchmark results against CASA simulated slot allocation model which is currently used by NM in Europe.

3. NUMERICAL EXAMPLE

In order to illustrate developed approach a hypothetical example is created. Demand consists of 18 flights flying over an en-route sector between 08:00 and 10:00 in the morning (Table 1). We use asterisk (next to the flight number, first column) to mark flights arriving to the coordinated airport operating at a capacity level. Half of the flights (OP column, Table 1) are Hub&Spoke (H&S), one third are Low Cost Carriers (LCC) and the rest are

Point to Point (P2P) [8], making shares very well in line with the reported ones [1]. Between 20% and 30% of all flights didn't have schedule buffers, i.e. their gate-to-gate time is longer than published schedule [8].

One realization of random number generation of SB is presented in (Table 1). Let further assume that all the flights filed their $EOBT$ in line with STD , except the flight number 17 with its $EOBT$ 20 minutes before STD , tactically increasing otherwise 'negative' schedule buffer. At the end, estimated time over (ETO) the en-route sector is associated with each flight and flights are sorted in ascending order of ETO . Suppose that the initial sector capacity of 20 flights per hour is reduced to 10 for 2 hours, between 08:00 and 10:00. Two hour long regulation is applied with the rate of 10 flights per hour; based on this ATFM slot list with 20 slots and their start and end times are defined (Table 1).

CASA slot allocation is a dynamic process based on first planned – first served policy applied during the pre-allocation stage when slots could be overtaken based on ETO . After a specified time, each pre-allocated ATFM slot is allocated to that flight and cannot be taken by another flight based on ETO [14]. After allocating ATFM slots to flights using CASA simulated process, we calculate both ATFM (d_{fi}^A) and propagated (d_{fi}^P) delay for each flight. Then we run a model to minimize propagated delay (MINP), and APSA algorithm to improve airport slot adherence.

MINP found optimal solution to be 110 minutes in total, while sum of propagated delay for CASA is 125 minutes. As a rule, flights with longer buffers obtained later slots, as they could absorb more ATFM delay, while flights with smaller or negative buffers are moved up in the slot list. On the other hand, total CASA ATFM delay is lower than the one calculated for MINP.

We further compare results from CASA and MINP using 30 different random samples from the same schedule buffer distributions. For this particular traffic demand and capacity constraints, MINP could save above 5% of delay propagated to subsequent flights compared to CASA. Only in two instances there were no savings, i.e. total propagated delay was the same for both models, while maximum saving was 15% (16 minutes).

We run APSA to demonstrate the improvement of slot adherence of arrivals at slot coordinated airport operating at a capacity level. In this case, airport slot adherence was improved with APSA (21 minutes) compared to MINP (38 minutes) and CASA (43 minutes). This improvement comes at the expense of additional ATFM delay imposed to flights with extra buffer time after the slot allocation (flights 1, 16, 17 and 18 in Table 1). Flights 2 and 3 could not further improve their airport slot adherence due to lack of additional buffer time.

Note that it was also possible to 'cherry pick' flight 17 and delay it initially for 16 minutes, without propagating any additional delay. Doing so would also move the flight

after R_{End} ($ETO_{17}=09:45+00:16=10:01$) freeing one ATFM slot (S19).

4. CONCLUSION

For the regulation and traffic demand considered, propagated delay savings depend on the schedule buffer distribution. There are numerous combinations of different realistic situations to be tested, but one could draw on the actual regulation statistics and come up with a few typical groups (clusters) of regulation and typical traffic mix (for a certain region) to test the benefits of the model in different circumstances. Also, one could consider different schedule buffer distributions across different flight operations.

We presented an approach to increase airport slot adherence at one coordinated airport, but there is also a possibility to carry out optimization seeking for maximizing adherence to airport slots for all the coordinated airports. As expected, with longer schedule

buffers there is more room for airport slot adherence improvement. Our methodology could also be used for airport regulations as well.

Initial results arising from this numerical example show that it might be possible to use proposed methodology to lower delay propagated to subsequent flights and at the same time to improve airport slot adherence. This improvement usually comes at the expense of increased ATFM delay. The results therefore imply that the current regulatory settings, namely binding European ANSPs through the Single European Sky Performance Scheme, to meet ATFM delay targets might not necessarily be adequate to AOs.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by the Ministry of Education and Science, Republic of Serbia, Project TR36033.

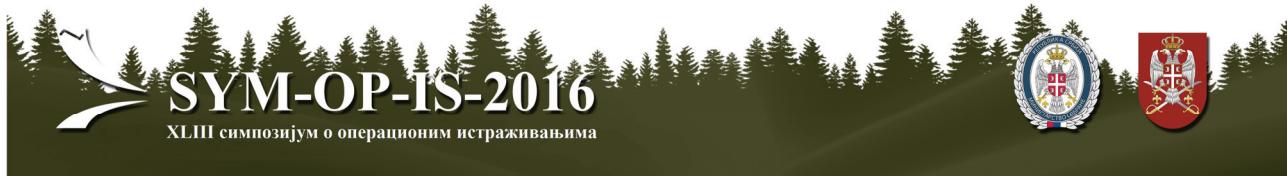
Table 1. Demand, capacity, slot allocation (CASA, MINP, APSA) and resulting delays

Flights							ATFM Slots		Slot Allocation			CASA			MINP			APSA			
F	OP	STD	EOBT	ETA	STA	ETO	S	L-U	CASA	MINP	APSA	d_{fi}^A	d_{fi}^P	a_f	d_{fi}^A	d_{fi}^P	a_f	d_{fi}^A	d_{fi}^P	a_f	
1 ^A	H&S	07:10	07:10	09:41	09:50	08:06	S1	08:00-08:05	S2	S2	S3	0	0	9	0	0	9	5	0	4	
2 ^A	P2P	07:40	07:40	09:55	10:00	08:18	S2	08:06-08:11	S4	S5	S5	0	0	5	6	1	6	6	1	6	
3 ^A	LCC	07:20	07:20	09:52	10:05	08:20	S3	08:12-08:17	S5	S7	S7	4	0	9	16	3	3	16	3	3	
4	H&S	07:30	07:30	11:24	11:20	08:21	S4	08:18-08:23	S6	S4	S4	9	13	-	0	4	-	0	4	-	
5	H&S	08:00	08:00	12:40	12:40	08:30	S5	08:24-08:29	S7	S6	S6	6	6	-	0	0	-	0	0	-	
6	LCC	07:50	07:50	11:00	11:00	08:39	S6	08:30-08:35	S8	S9	S9	3	0	-	9	1	-	9	1	-	
7	H&S	07:45	07:45	12:03	12:00	08:43	S7	08:36-08:41	S9	S8	S8	5	8	-	0	3	-	0	3	-	
8	P2P	08:10	08:10	11:31	11:25	08:45	S8	08:42-08:47	S10	S11	S11	9	3	-	15	9	-	15	9	-	
9	LCC	07:30	07:30	09:53	09:55	08:47	S9	08:48-08:53	S11	S10	S10	13	11	-	7	5	-	7	5	-	
10	H&S	08:15	08:15	11:00	11:10	08:52	S10	08:54-08:59	S12	S13	S13	14	4	-	20	10	-	20	10	-	
11	P2P	08:00	08:00	11:03	11:00	08:53	S11	09:00-09:05	S13	S12	S12	19	22	-	13	16	-	13	16	-	
12	H&S	07:40	07:40	10:53	10:50	08:59	S12	09:06-09:11	S14	S14	S14	19	16	-	19	16	-	19	16	-	
13	LCC	08:10	08:10	11:04	11:05	09:03	S13	09:12-09:17	S15	S15	S15	21	20	-	21	20	-	21	20	-	
14	LCC	08:30	08:30	12:08	12:10	09:10	S14	09:18-09:23	S16	S16	S16	20	18	-	20	18	-	20	18	-	
15	H&S	08:00	08:00	11:45	11:50	09:27	S15	09:24-09:29	S17	S17	S17	9	4	-	9	4	-	9	4	-	
16 ^A	H&S	08:20	08:17	11:17	11:20	09:41	S16	09:30-09:35	S18	S18	S18	1	0	2	1	0	2	3	0	0	
17 ^A	LCC	07:50	07:30	11:34	11:50	09:45	S17	09:36-09:41	S19	S19	S19	3	0	13	3	0	13	8	0	8	
18 ^A	H&S	07:40	07:40	11:21	11:30	09:50	S18	09:42-09:47	S20	S20	S20	4	0	5	4	0	5	9	0	0	
							S19	09:48-09:53	Sum Delay Minutes			159	125	43	163	110	38	180	110	21	
							S20	09:54-09:59													

REFERENCES

- [1] EUROCONTROL Performance Review Committee (2015). An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2014 - Performance Review Report, Brussels, Belgium.
- [2] Helios (2006). *The Impact of Fragmentation in European ATM/CNS*, London, UK.
- [3] L. Delgado (2015) "European route choice determinants," *11th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*, Lisbon, Portugal.
- [4] R. Jovanović, O. Babić, and V. Tošić (2015). "Pricing to reconcile predictability, efficiency and equity in ATM," *11th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*, Lisbon, Portugal.
- [5] R. Jovanović, V. Tošić, M. Čangalović, and M. Stanojević (2015). Anticipatory modulation of air navigation charges to balance the use of airspace network capacities, *Transportation Research Part A*, vol. 61, pp. 84–99.

- [6] C.-L. Wu (2005), Inherent delays and operational reliability of airline schedules, *Journal of Air Transport Management*, 11(4), pp. 273–282.
- [7] EUROCONTROL CODA (2015). *All-Causes Delay and Cancellations to Air Transport in 2014*, Brussels, Belgium.
- [8] M. Jetzki (2009). *The propagation of air transport delays in Europe* (Doctoral thesis), Department of Airport and Air Transportation Research, Aachen University, Germany.
- [9] E. B. de Villemeur, E. Quinet, M. Ivaldi, and M. Urdanoz (2011) “Optimal Air Traffic Delays,” *1st SESAR Innovation Days*, Toulouse, France.



AIRPORT APRON SIZE AND STRUCTURE: SENSITIVITY TO TRAFFIC CHARACTERISTICS

BOJANA MIRKOVIĆ

University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, b.mirkovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *The paper addresses possible connection between traffic characteristics and airport apron size and structure. Over the lifetime of the airport, apart from huge infrastructural changes (new terminal complexes), airport apron can be additionally expanded and/or modified in smaller steps. This expansion/modification is certainly motivated by traffic volume and structure changes. In this paper apron size (total number of aircraft stands) and its structure (in terms of contact vs. remote stands) is analyzed with respect to selected traffic characteristic expected to have an influence on it. Apron structure related to aircraft stand size (i.e. design aircraft) is not addressed in this paper. A sample of 32 AENA's airports is used for the analysis. Traffic data for the year 2011 and airport apron structures as of October 2012 are compared and their relations are discussed.*

Keywords: *Airport Apron Configuration, Traffic Characteristics.*

1. INTRODUCTION

Overall airport capacity is determined by the capacity of the most critical element. When it comes to of runway capacity scarcity, there is not much that can be done before building a new runway. In the case of small airports, it could be improvement of taxiway system (introduction of high speed exits and parallel taxiway), or runway extension to enable larger aircraft to land and take-off. Also, additional gain may be achieved by means of navigational aids, i.e. upgrading runway category, which increases runway utilization.

On the other hand, before terminal/apron complex reaches its capacity limit, it can be modified and extended in smaller steps, as a response on demand characteristics changes. It is, in a way, more “alive” and adaptable airport element than the runway system. To increase terminal/apron complex capacity airport can: expand terminal building (corridors, waiting rooms, etc.), install air bridges, engage additional equipment to improve passenger processing (check in, baggage claim, security, waiting rooms, etc.), expand apron area, rearrange apron to accept different customers (aircraft types, market segments, airlines, etc.).

This paper analyzes a possible connection between configuration of airport apron and characteristics of the traffic, i.e. sensitivity of apron size and structure to traffic volume and structure. Chapter 2 summarizes traffic parameters that possibly affect airport apron configuration. Data collected for the analysis are presented in Chapter 3. A connection between traffic characteristics and apron configuration is analyzed on an Aena's airports sample. Findings are discussed in Chapter 4 and Chapter 5. Chapter 6 summarizes the conclusions.

2. TRAFFIC CHARACTERISTICS

Traffic parameters expected to have an impact on airport apron size and structure are:

- ♣ Traffic volume,
- ♣ Traffic structure – share of different market segments, share of small aircraft,
- ♣ Share of regular/no-regular traffic, and
- ♣ Seasonality.

Size of the airport apron (number of aircraft stands) should be closely related to the **volume of traffic** served at an airport, i.e. higher traffic volumes are associated to larger apron areas and vice versa. It is common to use number of passengers to explain traffic volume, especially in the context of airport terminal/apron complex. In this case, considering airport apron as a part of the airside, primarily serving aircraft, traffic volume is also measured in aircraft movements (operations). The fact is that an aircraft occupies aircraft stand during its turnaround, regardless of number of passengers it carries on-board. On the other hand, same number of operations, realized with different fleet mix, may result in significant difference in number of passengers handled at an airport. Due to that, apron size and structure are observed in this paper from the perspective of both traffic volume indicators.

When it comes to airport “users”, separate aprons may be dedicated to: general aviation (GA), cargo and passenger operations. However, that is not necessarily the case. If they exist, number of aircraft stands at each apron should be analyzed with respect to specific demand served. This paper focuses on passenger aprons only. Three different passenger **market segments** are differed: traditional, low-cost and charter. Due to differences in their business policies different market segments ask for different level

of services at the airport. From passenger perspective, that means engagement of different facilities in the terminal building (e.g. no check-in counters for low-cost, only luggage drop-off), or the same facility is being exploited in different manner. In the context of aircraft stands, level of service is directly related to engagement of air-bridges vs. busses and/or walking. Contact stands (connected to terminal building by air-bridge) offer higher level of service than other (remote) aircraft stands which require engagement of busses and/or passengers walking to the aircraft.

Number of contact stands is generally related to the traffic volume handled at the airport. Higher traffic volume is connected to faster turnarounds and/or efficient connections between flights. At the same time, due to bigger terminals (longer terminal fronts), there are more terminal stands and more possibility to install the air-bridges. Traditional airlines prefer using contact stands, aiming to offer higher level of service to their passengers as well as to enable shorter connecting times for transfer passengers. Low-cost and charter airlines, flying point-to-point, transporting primarily terminating and originating passengers, offering them lower level of service (under lower cost), preferably use remote stands. Significant increase of low-cost market segment, for over than three decades now, had huge impact on airport development. When the volume of low-cost is such that it requires separate terminal, airports remodel existing, or build new, terminals, offering them level of service they are ready to pay for. Furthermore, higher share of charters and other **no-regular traffic** is likely to postpone airport decision to introduce additional contact stands, while higher share of scheduled flights may have simulative effect on the same decision. Due to all, share of contact vs. remote stands on passenger apron is expected to be sensitive to share of traditional vs. low-cost + charter market segments. If there is no GA and/or cargo apron, these market segments should also be considered as candidates for remote stands.

Although preferably used by low-costs and charters, remote stands may also be engaged for overflow in scheduled traditional flights during peak periods, especially when operated by small aircraft. Even in off-peak periods, **small (regional) aircraft** can also be observed as candidates for remote, rather than contact, stands. Sometimes air-bridges (stationary ones) may even not be suitable for regional aircraft. Furthermore, these aircraft carry small number of passengers and allow quick turnarounds even on remote stands. Share of small aircraft in the fleet mix flying to-from the airport affects the ratio between air traffic movements (operations) and air passengers. Depending on the share of small aircraft, airports handling similar number of operations can differ, sometimes even significantly, in number of passengers they serve. Lower share of small aircraft is associated to higher number of passengers and, with that, to larger terminal complex, greater total number of aircraft stands, and possibly greater number of contact stands.

Seasonal airports experience significant difference between (summer or winter) season and the rest of the year. During few months of the season they operate under

heavy loads, while the rest of the year the same resources are underutilized. Due to difference between season and off-season traffic, it is expected that seasonal airports have larger aprons (and terminal complexes in general) than airports of the similar size on annual basis, since terminal/apron complex is designed for peak loads. It is also assumed that high seasonality increases share of remote stands. The maintenance cost during off-peak season is lower for remote than for contact stands. There are no expenses for equipment and workers engagement in off-peak periods, while air-bridges require maintenance regardless whether they are in use or not. Also, the traffic on the seasonal airports is mainly point-to-point, leisure, so even during periods of heavy loads these airports are less “urged” to introduce contact stands, than dominantly traditional airports of the similar size.

3. DATA COLLECTION

For the analysis of the connection between airport apron size/structure and traffic characteristics Aena’s (Aeropuertos Espanoles y Navegacion Aerea) airports are used. All airports are run by the same company, so possible differences caused by different policies of investment (e.g. private vs. state owned, one company vs. another) are avoided. Aena’s airports with more than 100.000 passengers and/or more than 5.000 commercial operations are included in the analysis (32 airports). Traffic data for the year 2011 is used, from two sources: Aena Estadisticas [1] and Eurocontrol Statfor [2]. Aena’s database offers different data for its airports: operations/ arrivals/ departures, commercial/ non-commercial, regular/ no-regular, per airline/ aircraft type, per airport/ country of origin-destination, etc. Statfor offers monthly data for number of departures per market segment: traditional, low-cost, charter, cargo and business aviation.

Recovering from the traffic decrease experienced in 2009 (due to economic crisis), majority of airports from the sample in 2011 reached the traffic volume they had back in 2006/07. Figure 1 shows traffic distribution in 10-year period, 2003-2012, for medium-size airports with 3-6 million passengers.

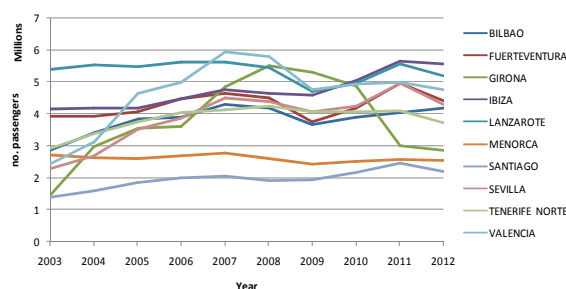


Figure 1 – Traffic distribution in 10-year period

All traffic structure parameters are extracted on annual basis, but also for peak month in 2011, having in mind peak loads are the basis planning and design. As expected, annual and peak month numbers for total number of departures, numbers of regular and non-regular departures and numbers of departure for each market segment are highly correlated (0,94 and higher). In further analysis annual traffic figures are used.

Data on apron structure (number contact and remote stands at passenger apron and, if available, number of GA and cargo stands) are collected from Aeronautical Information Publication, AIP [3]. Additionally, number of terminal stands without air-bridges is also noted. They fall under remote stands count, but, in a way, depict airport's potential to increase number of contact stands. For large airports, having flexible apron areas, maximum number of aircraft stands that may be used simultaneously is taken into consideration in this analysis. Apron structures as from October 2012 are used. Furthermore, infrastructural changes since 1990s were also analyzed. Idea was to note airports that have undergone serious expansion in recent years (e.g. Santiago and Alicante - new terminal in 2011, Valencia terminal expansion in 2012), in order to explain possible inconsistencies.

4. APRON SIZE VS. TRAFFIC VOLUME

Speaking of the size of airport apron, very strong relationship is observed between number of aircraft stands (total, contact, remote) and annual departures; and number of aircraft stands (total, contact, remote) and annual passengers ($R^2 \geq 0.92$). Functional relationship between total number of aircraft stands and number of annual commercial departures is shown in Figure 2.

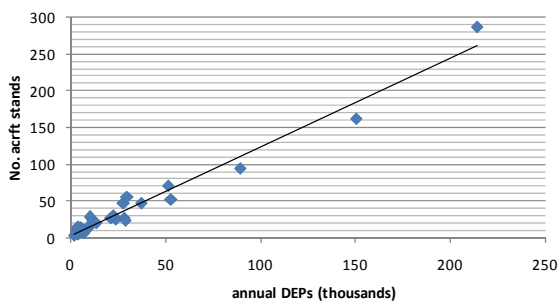


Figure 2 – Relationship between number of aircraft stands and commercial departures, whole sample

In terms of airport size, sample covers very wide range, but airports are not evenly spread over different size categories. Due to that, for more realistic relationships it is necessary to narrow the range of observation. For example, in the group of (15) airports with less than 10 thousand departures there is none, or very weak, relationship ($R^2 < 0.3$) between number of aircraft stands and both annual departures and annual passengers. On the other hand, both relationships are still very strong in the group of (17) airports with more than 10 thousand departures. Also, if outliers are excluded (three largest airports and one airport with recent terminal expansion), there is still very strong relationship to annual passengers ($R^2 = 0.91$), while it is somewhat weaker to annual departures ($R^2 = 0.73$).

Official airport categorization, suggested by European Commission, based on annual departures (up to 5 thousand; 5 to 25 thousand; 25 to 50 thousand; and over 25 thousand departures) was not suitable for the sample airports. Namely, in each category (even when allowing overlapping) airports were mainly concentrated on the lower or the upper bound of the range, with a gap in between, leading to more similarities between airports on the upper bound of lower category, and lower bound of the upper category than between airports from the same

category. Due to that, different categorization is used, with respect to number of passengers in 10 year period 2003-2011: up to 1 million pax (5 airports); 1-2 million pax (10); 2-6 million pax (11); over 6 million pax (6). These categories nearly correspond to the following ones in terms of annual departures: up to 5 thousand; 5-10 thousand; 10-30 thousand and over 30 thousand.

Some general conclusions are observed. Before reaching 1 million passengers airports mainly do not decide to introduce air-bridges (contact stands). Only few (2-3) contact stands seem to be enough to support handling another million of passengers (up to 2 million). Due to that, there is not much sense looking for possible impact of traffic characteristics on apron structure (contact vs. remote stands) for small airports. In this paper some soft conclusions are presented using the example of category 3 airports (3-6 million passengers) with one additional airport “borrowed” from the higher category, based on its annual departures (Tenerife Sur).

4. AN IMPACT OF TRAFFIC PARAMETERS?

Figures 3 and 4 show apron structure and traffic volume for category 3+ airports (10+1).

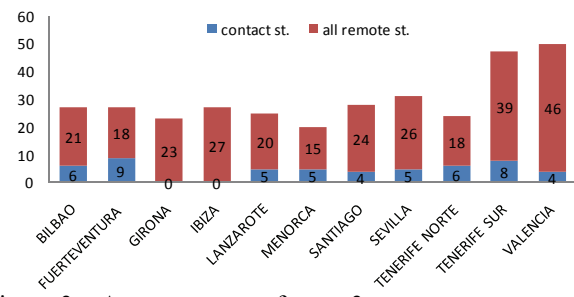


Figure 3 – Apron structure for cat.3+

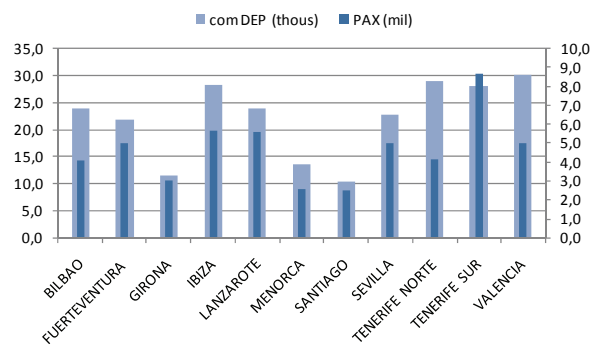


Figure 4 – Annual departures and passengers for cat.3+

As discussed in Section 2 traffic parameters expected to have an impact on apron structure are: seasonality, share of regular/no-regular flights, share of traditional vs. other flights and share of small aircraft in the fleet mix. Figure 5 summarizes traffic parameters for category 3+ airports. Traffic parameters expected to favour remote over contact stands are given in the chart.

In this paper, **seasonality** is expressed as ratio between total annual traffic and peak month traffic multiplied by 12 (months). All airports with “fill factor” of less than 0.75 experience seasonality to some extent. Higher “un-fill” factor (1- fill factor) is associated to stronger

seasonality. There are nine seasonal airports (*three* in cat3+ group): Alicante, Girona, Ibiza, Jerez, Malaga, Menorca, Murcia, Palma de Mallorca and Reus.

Data on number of departures by **market segment** (traditional, low-cost, charter and, in this case, cargo traffic) is available from Statfor. Cargo apron is observed together with passenger apron as it was not possible, in many cases, to clearly distinct between cargo and passenger apron from available airport charts. Traditional departures are assumed to favour contact stands. Candidates for remote stands are low-cost, charter and cargo. For airports with no GA apron, business aviation is also considered as a candidate for remote stands. Twelve airports have more than 50% “other than traditional” departures, six of which over 70% (*two* in cat 3+ group): Zaragoza, Murcia, Reus, Girona, Alicante, Tenerife Sur).

Based on Aena’s database, share of **no-regular** departures goes up to 32% (Reus), in extreme case. Among other 31 airports, only three airports (all in cat3+ group) have no-regular share above 20%. This parameter should be rather used to better understand structure for “other than traditional” flights, whether they are primarily low-cost of charters. For example, Girona’s other than traditional departures are mainly low-cost, while at Tenerife Sur charters have more significant share.

Small aircraft include regional and other small aircraft (source: Aena’s database). Presence of small aircraft in the fleet mix of sample airports varies from only few percent up to 100% (five airports have more than 70% small aircraft, among them Tenerife Norte in cat 3+ group).

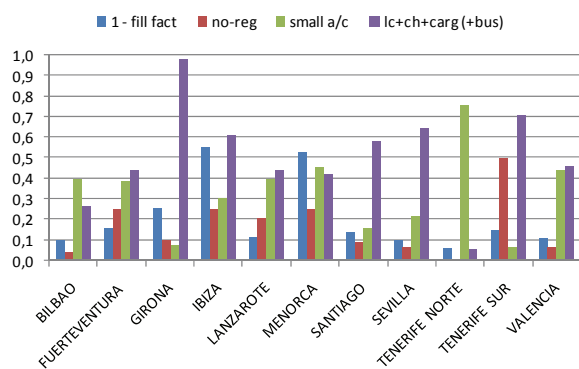


Figure 5 – Traffic parameters for cat.3+

A few observations related to cat3+ group are selected to support the overall conclusion – the connection between apron structure and traffic parameters, if any, is very weak, insignificant.

Two airports with no contact stands (Girona and Ibiza) have very extreme values of traffic parameters. In the case of Girona, share of low-cost flights is nearly 100%, and Ibiza has very strong seasonality (0.55) combined with high share of low-cost and charter flights (60%). On the other hand, the same does not apply for Santiago and Sevilla although having similar traffic parameters as Girona. Five contact stands at Sevilla cannot be explained with the difference in traffic volume, since Girona had the same traffic volume in 2010, and even higher in earlier

years. However, at Santiago the difference could be due recent expansion - new terminal complex opened in 2011. Menorca is smaller in terms of traffic volume and apron size than Ibiza, but it has even five (of 20) contact stands, although having very similar traffic parameters. Share of small aircraft does not seem to have any direct impact on apron structure. It is rather indirect, through the ratio between number of operations and number of passengers. Tenerife Sur handles similar number of departures as Tenerife Norte and Valencia, but twice more passengers than both. At the same time, number of aircraft stands at Tenerife Sur is double than at Tenerife Norte, but the same as at Valencia. Regarding charter flights, it could not be confirmed from the sample that they necessarily favor remote stands. It even appears that opposite applies, when they become dominant market segment at an airport, e.g. Menorca, Fuerteventura and Lanzarote. It is not the case with Ibiza, possibly due to still greater number of low-cost and very extreme seasonality.

5. CONCLUSION

Apron size naturally depends on volume of traffic. There is strong relationship between apron size and traffic and annual commercial departures, because the sample covers very wide range in terms of airport size. If we observe smaller groups, it was interesting to notice that stronger relationships exists to number of annual passengers that to annual departures. For small airports (up to 2 million passengers) these connections are too weak, which is not the case with airports with more than 2 million passenger i.e. more than 10 thousand departures.

If any, impact of other traffic characteristics on apron structure is rather speculative. Only in the case of extreme values certain effects are detected, and not necessarily as they were assumed. For example, if it is dominant market segment, charter flights seem to be treated as traditional, at airports with no seasonal characteristics. Also, significant share of small aircraft did not have expected direct impact. Fleet mix is already indirectly included through analysis of both traffic volume parameters (operations and passengers).

Important factor that certainly affects relationship between demand and supply side is capacity utilization of the available resources at the airport. Lower utilization level means more spare capacity and, with that, smaller sensitivity to traffic characteristics. However that particular question was not addressed in this paper.

Acknowledgement: Work on this paper is supported by the Ministry of education, science and technological development, Republic of Serbia (project no. TR36033)

REFERENCES

- [1] Aena, Estadísticas de tráfico aéreo, 2011, <https://www.aena.es>
- [2] Eurocontrol, Statistics and forecast – STATFOR, 2011, <http://www.eurocontrol.int/statfor>
- [3] Eurocontrol, European AIS Database - EAD, 2012, <https://www.ead.eurocontrol.int>



ПРОЦЕНА ЗАУЗЕТОСТИ ПАРКИНГ МЕСТА У СИСТЕМУ ПАРКИРАЊА СА РЕЗЕРВАЦИЈАМА
OCCUPANCY EVALUATION OF PARKING PLACES IN THE PARKING SYSTEM WITH RESERVATIONS

БРАНКО ДАВИДОВИЋ

Висока Техничка Школа Струковних Студија Крагујевац, Крагујевац, Србија, iwtbg@beotel.net

ДУШКО ЛЕТИЋ

Универзитет у Новом Саду, Технички факултет Михајло Пупин, Зрењанин, Србија, dletic@open.telekom.rs

АЛЕКСАНДАР ЈОВАНОВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Београд, Србија, caki1987@gmail.com

СНЕЖАНА ВРАЊЕШ

Е.С.Ж. Зрењанин, Зрењанин, Србија, vsneza@hotmail.com

Резиме: Приликом управљања захтевима за паркирање једно од критичних места у том процесу је трајање паркирања. Додатно, у случају примене система са резервацијом потребно је знати и време путовања корисника до паркинг места. Циљ овог рада је да на основу процене корисника о времену путовања до паркинг места и времену трајања паркирања предложи модел за процену укупне "заузетости" паркинг места. Узимајући у обзир да се ради о величинама које није могуће егзактно проценити као алат за решавање коришћен је фази логички систем (FLS). На основу података о вредностима улазних величина и излаза из система обучавана је неуронска мрежа (НН), која ће подешавати функције припадности фази логичког система (ANFIS). На крају, дат је тест пример урађен у "Матлаб"у, који показује могућност примене овог модела.

Кључне речи: Паркирање, Резервација, ANFIS.

Abstract: When managing the parking requirements one of the critical spots in this process is the duration of parking. Additionally, in case of application of the reservation system is necessary to know the users travel time to parking places. The aim of this paper is to, based on the users evaluation of travel time to the parking places and the duration of parking, submit a model for assessing the total "occupation" of parking places. Taking into account that time parameters can not be accurately assessed, as a tool for solving the problem fuzzy logic system (FLS) is used. Based on the data values of inputs and outputs of the system neural network (NN) is trained. NN will adjust the shape of membership function for fuzzy logical system (ANFIS). At the end a test example was done in the "Matlab", which demonstrates the possibility of application of this model.

Keywords: Parking, Reservation, ANFIS.

1. УВОД

Потрага за паркинг местом у централним градским зонама великих градова је један од свакодневних проблема са којим се сусрећу возачи целог света. Последнице овог проблема су загушења саобраћаја, непрописна паркирања, као и додатно загађивање ваздуха које настаје док возила траже паркинг место, итд.

Још у Старом Риму Јулије Цезар је декретом забранио улазак запрежних возила у пословне центре у одређено доба дана, што говори да је проблем паркирања већ тада био присутан. У данашње време, у многим градовима света, корисници плаћају право на коришћење

различитих услуга у циљу паркирања свог возила. Оваква стратегија у неким случајевима може довести до смањења загушења у зонама високе атрактивности, што јесте и један од циљева наплате паркирања. Дакле, разне стратегије наплате паркирања могу бити део решавања комплексног проблема смањења загушења у градовима.

На пример, градске власти би могле да уведу већу цену за паркирање соло возачима, него у случају да у аутомобилу има више од једног путника, или би предност код резервације паркинг места могли имати возачи који превозе два или више путника.

Систем паркирања са резервацијама функционише тако што се корисник јавља оператеру који управља захтевима за паркирање путем телефона (или све чешиће помоћу апликација на мобилним телефонима) и износи податке потребне за његову резервацију (прихватљиво време пешачења, прихватљиву цену, жељено време паркирања, итд.). У овом раду фокус ће бити на подацима о процени корисника о времену путовања до локације и времену трајања паркирања. На основу свог искуства и навика корисник најбоље може да процени време путовања до паркинг места, као и да на основу мотива паркирања (који остаје само кориснику познат) процени време трајања паркирања.

Циљ модела изложеног у овом раду је да процени укупну “заузетост” једног места за паркирање од стране једног корисника. Под “заузетошћу” паркинг места аутори подразумевају време од када корисник испостави захтев за паркирање оператеру до момента када напусти паркинг место.

Модел предложен у раду нема за циљ да управља системом за паркирање са резервацијама у целости, већ да процени “заузетост” сваког паркинг места у систему од стране корисника који свој захтев успоставља у неком тренутку времена. Овакав податак би умногоме олакшао посао оператеру (или био део неког софтвера) у смислу значајног приближавања реалној ситуацији и бољег управљања расположивим местима за паркирање. Поред тога, овај модел би помогао у одлуци да ли прихватити или не захтев за резервацијом, а у случају одбијања захтева, и упутио кориснику реалније време чекања на евентуалну резервацију.

Радови који разматрају моделе за управљање захтевима за паркирањем, могу се наћи код различитих аутора: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Применама фази логике и табу претраживања у проблемима управљања радом паркинг гаражама бавили су се: [12, 13].

Теодоровић анд Лучић, [14] у свом раду предлажу модел интелигентног паркинг система који је базиран на фази логици, где се правила у фази логичком систему генеришу применом Ванг Менделове методе, и целобројном програмирању. Аутори су развили ситем за “онлине” управљање захтевима за паркирањем у складу са доступним капацитетом гараже уз максимизацију прихода. На тест примеру показали су успешност примене једне овакве методе.

Проблемом управљања захтевима за паркирањем у “онлине” времену у паркинг гаражама бавили су се Јинг ет алл., [15]. Показали су како се разматрани проблем може успешно третирати помоћу генетских алгоритама.

У детерминистичким моделима који су развијени за управљање паркирањем са резервацијама [16, 17, 18] време паркирања и време доласка корисника до паркинг места су представљена као егзактне величине. Оваква поставка у пракси често није могућа, и може да доведе до “прецизно погрешног” модела управљања.

У другом делу рада биће приказана поставка проблема и изложен модел за процену укупне “заузетости” паркинг места. У трећем делу рада модел ће бити тестиран на случајно генерисаним паровима улазних података, док је за закључна разматрања и приказ будућих праваца истраживања резервисано последње поглавље овог рада.

2. МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ “ЗАУЗЕТОСТИ” ПАРКИНГ МЕСТА

Претпоставимо да имамо паркинг систем са резервацијама. Као улазне величине за одређивање “заузетости” паркинг места од стране корисника узимају се: 1) Процена корисника о времену путовања до паркинг места (X_1) и 2) Процена корисника о времену трајања паркирања на паркинг месту (X_2). Као излазна величина (Y) одређује се “заузетост” паркинг места.

Излазна величина се користи као део целокупног система за управљање паркирањем са резервацијама и знатно доприноси квалитету управљања захтевима у смислу приближавања реалним условима. На основу улазних и излазних величина, које није могуће егзактно одредити, формира се FLS Сугено типа. Интервали у којима се могу наћи улазне и излазне променљиве дати су у табели 1.

Табела 1: Домен функција X_1 , X_2 и Y

Функција	Домен (мин)
X_1	[5, 60]
X_2	[5, 540]
Y	[10, 600]

Домене функција дате у табели 1. могуће је одредити и на други начин, зависно од конкретних услова у коме се паркиралиште налази.

Корисник процењује време путовања до доласка на паркинг место на: око 25 мин, или 30 мин и сл. На исти начин процењује и време трајања паркирања. Ти подаци се не узимају као егзактни, већ постају улазне величине у FIS (X_1 и X_2), где им се додељује функција припадности неком од фази скупова.

Потом се помоћу детектора на улазу у паркинг гаражу, или на самом паркинг месту бележи стварно време доласка, и стварно време напуштања паркинг места. На основу тих података, формира се излазна величина из ФИСа (Y). Излазна величина дата је као линеарна функција улазних величина, облика $Y = aX_1 + bX_2 + c$. Параметри a , b , и c се утврђују емпиријски у зависности од одступања стварних времена доласка и одласка са паркинг места и процене ових времена од стране корисника. Генерално, уколико је запажено да су одступања већа од нуле параметри ће бити већи од јединице, и обрнуто. На овом месту неће се детаљно обрађивати избор параметара a , b и c , већ ће њихове вредности бити приказане у бази фази правила.

За опис улазних критеријума, као функције припадности, коришћене су Гаусове криве (слика 1a).

Гаусове криве су изабране јер су погодне за манипулацију приликом подешавања FLS-а, као и због чињенице да добро описују улазне променљиве и обезбеђују задовољавајућу осетљивост система. Поред наведеног, подешавањем наведених функција припадности обезбеђује се најмања грешка на излазу из ANFIS модела.

Након одређивања улазних параметара FLS-а потребно је формирати базу правила која је дата у табели 2.

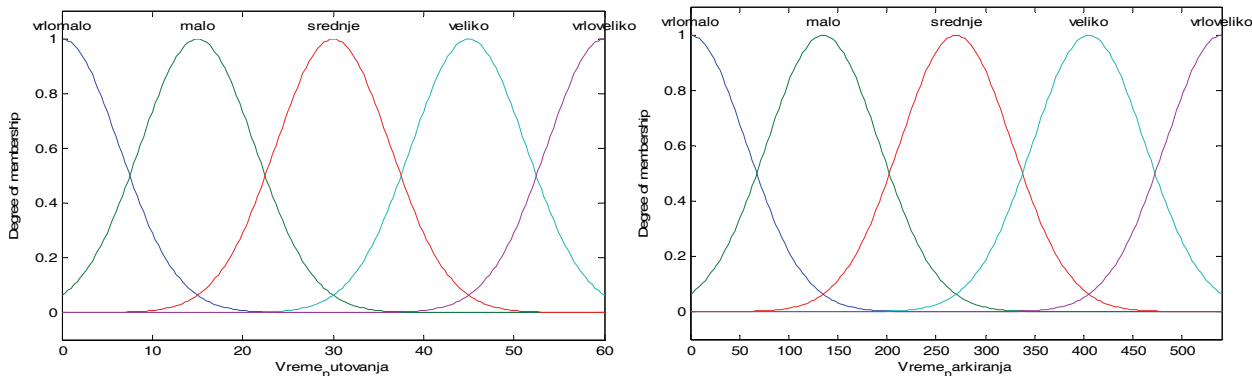
Табела 2: База фази правила

Бр. правила	иф (X_1 анд X_2)		тхен
	X_1	X_2	Y
1.	Врло мало	Врло мало	$0.99 \cdot X_1 + 1.06 \cdot X_2$
2.	Врло мало	Мало	$1 \cdot X_1 + 1.11 \cdot X_2$
3.	Врло мало	Средње	$0.75 \cdot X_1 + 0.99 \cdot X_2$
...			
23.	Врло велико	Средње	$1.23 \cdot X_1 + 0.71 \cdot X_2$
24.	Врло велико	Велико	$1.21 \cdot X_1 + 0.84 \cdot X_2$
25.	Врло велико	Врло велико	$1.04 \cdot X_1 + 0.76 \cdot X_2$

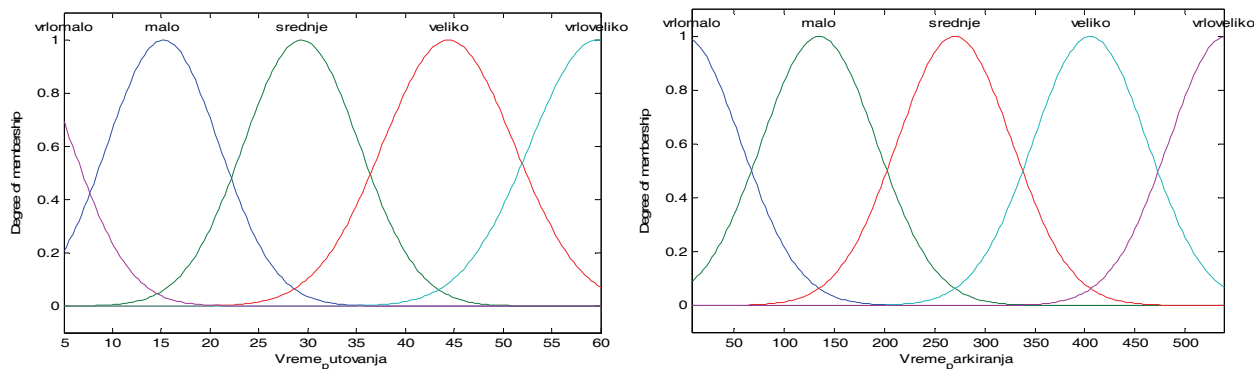
Подаци за обучавање НН добијају се генерисањем из података о процењеној вредности улазних величина од стране корисника и стварној вредности добијених са детектора на паркиралишту. За потребе овог модела, НН ће бити обучавана на 200 случајно генерисаних улазних величина (X_1 и X_2). Излазна величина (Y) се добија, тако што се на случајан начин генеришу вредности у интервали од $\pm 10\%$ од процењене вредности улазних величина, на следећи начин:

$$Y = \text{randbetween}(X_1 - X_1/10, X_1 + X_1/10) + (X_2 - X_2/10, X_2 + X_2/10) \quad (1)$$

На исти начин, као у обрасцу (1), генерисани су и излази на основу којих су процењени параметри a , b и c приликом одређивања излазних величина за формирање FISa Sugeno типа. Овакав начин дефинисања улаза и излаза је примењен из практичних разлога јер не постоје услови у Србији где би један овакав модел могао бити тестиран на реалним подацима. На слици 16. приказане су улазне величине после обучавања НН, које фино подешавају функције припадности FLSa у складу са обуком које су добиле из података.



а. Изглед функција припадности улазних величина пре обучавања НН



б. Изглед функција припадности улазних величина после обучавања НН

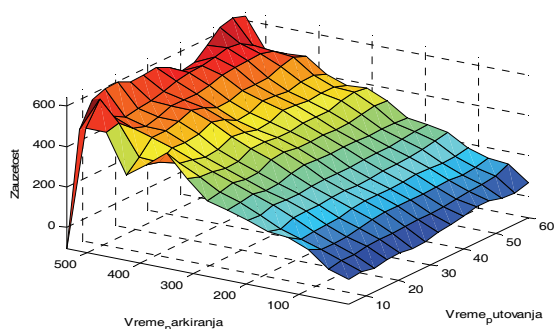
Слика 1: Изглед функција припадности улазних величина пре и после обучавања НН

Подаци за обучавање НН обнављају се после сваког новог разматраног захтева. Другим речима, како расте број захтева тако расту и подаци за обучавање НН. Како време пролази тако се модел све више прилагођава реалној ситуацији, што и јесте главни потенцијал примене вештачке интелигенције у решавању датог про-

блема. Крајњи резултат би био да у једном тренутку овај систем постане толико "паметан" да ће моћи да препозна навике и понашање корисника, па у складу са тим и да доноси одлуке.

На наредној слици 2. дата је 3Д зависност улазних величина од излазне величине. Другим речима, на слици

се види осетљивост излазне величине (“заузетост“) у односу на улазне (процењено време путовања и време паркирања од стране корисника).



Слика 2: 3Д зависност величина ANFISa

Са слике 2. се може уочити да не постоје драстично велика одступања процене корисника и стварних времена “заузетости” паркинг места, што је и било очекивано. Чак, виде се и већа одступања како процењено време паркирања и путовања расте, што је такође било очекивано.

3. ПРИМЕР ПРИМЕНЕ НА ХИПОТЕТИЧКИМ УЛАЗИМА

Предложени ANFIS модел за процену “заузетости” паркинг места у систему са резервацијама биће тестиран на 10 случајно генерисаних улазних парова. Резултати су приказани у наредној табели 3.

Табела 3: Тестирање предложеног ANFIS modela

X_1 (min)	X_2 (min)	Y (min)	Odstupanje (min)
45	29	80	-6
20	209	226	3
14	105	113	6
19	170	193	-4
11	36	41	6
59	15	78	-4
58	423	494	-13
22	308	330	0
48	270	313	5
57	539	640	-44

Одступање показује колико минута су корисници погрешили у процени у односу на оно што је прорачунао модел предложен у раду.

4. ЗАКЉУЧАК

Предложен је модел за процену “заузетости” паркинг места од стране једног корисника у системима паркирања са резервацијама. Процена се врши на основу података које су добијене од стране корисника о његовој процени времена путовања до паркинг места и времена паркирања. “Заузетост” паркинг места зависи од многих фактора које није могуће одредити на детерминистички начин, из разлога што је потребно приближити систем управљања захтевима за паркирање реалним условима.

Проблем је решаван применом ANFISa, у софтверу “MathLab“. Овај пример показује практичност и мо-

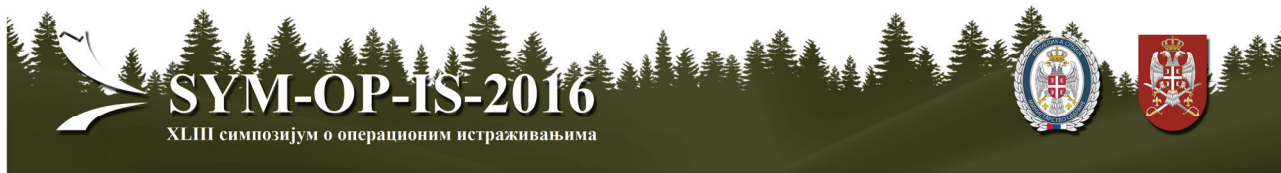
гућност примене ове методе вештачке инлигенције на задати проблем.

Будућа истраживања би могла ићи у правцу изналажења најефикаснијег искоришћавања предложене методе у управљању целокупним системом захтева за паркирањем са резервацијама.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Maher, M. J. and Birchall, M. C., (1975). “Focus on planning for parking: a stochastic parking problem”, *Traffic Engineering & Control*, 16 (5), 220-223.
- [2] Van der Goot, D., (1982) “A model to describe the choice of parking places”, *Transportation Research* 16A, 109-155.
- [3] Young, W., et all., (1991) “A review of urban parking models”, *Transport Reviews*, 11, 63-84.
- [4] Saltzman, R. M., (1997) “An animated simulation model for analyzing on-street parking issues”, *Simulation*, 69, 79-90.
- [5] Thompson, R.G. and Richardson, A.J., (1998) “A parking search model”, *Transportation Research* 33A, 159-170.
- [6] Shoup, D., (1999) “The trouble with minimum parking requirements”, *Transportation Research Part A*, 33, 549-574.
- [7] Tam, M.L. and Lam, W.H.K., (2000) “Maximum car ownership under constrains of road capacity and parking space”, *Transportation Research* 34A, 145-170.
- [8] Wong, S.C., et all., (2000) “Development of parking demand models in Hong Kong”, *Journal of Urban Planning and development*, ASCE 126, 55-74.
- [9] Thompson, R. et all., (2001) “Optimisation of parking guidance and information systems display configurations”, *Transportation Research Part C*, 9 (1), 69-85.
- [10] Acierno, L., et all., (2006) “Optimisation models for the urban parking pricing problem”, *Transport Policy*, 13 (1), 34-48.
- [11] Imae, J., et all., (2009) “Real-time optimisation for parallel-parking control of four-wheeled vehicles”, *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 6 (3), 255-262.
- [12] Sugeno, M. and Murakami, K., (1984) “Fuzzy parking control of model car”, *Decision and Control*, The 23rd IEEE Conference on, 23, 902 - 903.
- [13] De Neufville, R., et all., (2006) “Real Options by Spreadsheet: Parking Garage Case Example.” *J. Infrastruct. Syst.*, 12(2), 107-111.
- [14] Teodorović, D. and Lučić, P., (2006) “Intelligent parking systems”, *European Journal of Operational Research*, 175, 1666-1681.
- [15] Jing, Y. et all., (2010) “Multi-objective optimisation of steel frame of solid garage based on genetic algorithm”, *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 9 (1), 108-113.
- [16] Geng, Y. and Cassandras, C., (2011) “A New “Smart Parking” System Based on Optimal Resource Allocation and Reservations” 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Washington, DC, USA. October 5-7, pp. 979 - 984.

- [17] Geng, Y. and Cassandras, C., (2012) “A new “Smart Parking” System Infrastructure and Implementation”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54, 1278 – 1287.
- [18] Bohari, I. et al., (2015) “Online Parking System” *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*, 3 (1), 1024 – 1028.



РАЧУНСКИ АСПЕКТИ ОДРЕЂИВАЊА ОПТИМАЛНОГ УПРАВЉАЊА САОБРАЋАЈЕМ НА СИГНАЛИСАНОЈ РАСКРСНИЦИ

COMPUTING ASPECTS OF OPTIMAL TRAFFIC CONTROL DETERMINATION ON SIGNALIZED INTERSECTION

БРАТИСЛАВ ЛАЗИЋ

Институт Михајло Пупин, bratislav.lazic@pupin.rs

НЕБОЈША БОЈОВИЋ

Саобраћајни факултет, Београд

ВЛАДАН БАТАНОВИЋ

Институт Михајло Пупин, vladan.batanovic@pupin.rs

РАДИВОЈ ПЕТРОВИЋ

Институт Михајло Пупин, radivoj.petrovic@pupin.rs

СЛОБОДАН ГУБЕРИНИЋ

Институт Михајло Пупин, slobodan.guberinic@pupin.rs

Резиме: *Одређивање оптималног управљања саобраћајем на сигнализаној раскрсници своди се на одређивање најбољег низа управљачких вектора чије компоненте су бинарне променљиве, и трајања тих вектора који представљају континуалне променљиве. У скупу ових вектора постоји релација слеђења, којој одговара граф слеђења, тако да се задатак своди на одређивање оптималног затвореног пута на овом графу. На бази концепта гранања и ограничавања развијен је алгоритам за решавање овог задатка. Границе се одређују нелинеарним или линеарним програмирањем. Испитана је конвексност задатака за различите критеријуме оптималности.*

Кључне речи: *Оптимално управљање саобраћајем, Нелинеарно програмирање, Оптимални путеви на графу.*

Abstract: *Determination of optimal traffic control on signalized intersection is formulated as the problem of the determination of the best sequence of control vectors whose components are binary variables and the duration of those vectors as the continual variables. In the set of those vectors exists the transition relation with corresponding graph and the problem of optimal traffic control problem is transformed to the finding the best closed path on that graph. The algorithm for the solution of that problem is developed using the branch-and-bound concept. The mathematical programming is used for determination of the bounds in proposed algorithm. The convexity of some problems is investigated.*

Keywords: *Optimal traffic control, Nonlinear programming, Optimal closed paths on graph.*

1. УВОД

Процес који се одвија на једној сигнализаној раскрсници, састоји се од трансформације улазних токова у излазне и формирања редова чекања и њиховог пражења.

Управљање саобраћајем на раскрсници је један вектор, чије компоненте су функције времена, којима се управља саобраћајним токовима помоћу различитих индикација светлосних сигнала. Различитим индикацијама светлосних сигнала су конвенцијом придружене одређене вредности једне променљиве.

Појединим индикацијама светлосних сигнала којима се управља сигналним групама (скупови саобраћајних струја, којима се управља истим индикацијама

светлосних сигнала) [1], додељују се конвенцијом вредности које може да узме управљачка променљива. После трансформације у ефективне вредности [2] постоје две различите индикације светлосних сигнала. Може се усвојити да управљачка променљива u_p у било ком тренутку може да има вредност 0 или 1. Притом ове вредности имају следећа значења: 1-дозвољено кретање сигналној групи D_p (зелена индикација светлосних сигнала), 0 – није дозвољено кретање сигналној групи D_p (црвена индикација светлосног сигнала).

Управљање саобраћајем на једној раскрсници током једног циклуса дефинисано је векторском функцијом времена:

$$u(\cdot) = [u_1(\cdot), u_2(\cdot), \dots, u_p(\cdot), \dots, u_p(\cdot)]^T$$

чије компоненте су функције времена, у интервалу $[0, c]$. Уобичајен назив за векторску функцију времена $u(\cdot)$ је *сигнални план*.

У сигналном плану постоје интервали у којима ниједна компонента не мења своју вредност. Могуће је, стога, представити сигнални план на још један начин. Наиме, сигнални план је могуће представити низом управљачких вектора, којима се управља у појединим интервалима у којима се управљање не мења, и трајањем ових интервала.

$$u(\cdot) = [(\mathbf{u}^1, \tau^1)^T, (\mathbf{u}^2, \tau^2)^T, \dots, (\mathbf{u}^k, \tau^k)^T, \dots, (\mathbf{u}^K, \tau^K)^T]$$

Управљачки вектори $\mathbf{u}^1, \mathbf{u}^2, \dots, \mathbf{u}^k, \dots, \mathbf{u}^K$ се називају такође и фазе. K је притом број фаза којима се управља у току једног циклуса.

Управљачки задатак односно задатак одређивања сигналног плана се сада своди на избор фаза и њиховог редоследа, и одређивање трајања сваке фазе. При том се, наравно, одређује и број фаза K .

Задатак оптималног управљања се састоји у избору управљања $u(\cdot)$ из скупа допустивих управљања U_f којим се оптимизира одабрани критеријум J_c .

Потребно је стога, као при формулацији сваког оптимизационог проблема:

а) Дефинисати скуп који садржи управљања која се могу изабрати, односно дефинисати скуп допустивих управљања U_f и

б) Увести релацију поретка, односно одредити меру помоћу које ће моћи да се пореде два управљања, а такође и да се одабере оно које је најбоље пошто је скуп U_f неуређен. Потребно је дакле, дефинисати критеријум оптималности, или индекс перформансе или функцију циља.

Постоји више мера, односно критеријума оптималности, на основу којих могу да се пореде управљања.

За дефинисање управљачког задатка осим одређивања критеријума оптималности потребно је знати протоке, стања и управљања у интервалу $[0, c]$.

Задатак избора оптималног управљања може се, стога, дефинисати паром (U_f, J_c) . Притом је, наравно, потребно указати да ли критеријум оптималности J_c треба минимизирати или максимизирати.

2. СКУП ДОПУСТИВИХ УПРАВЉАЊА

Скуп допустивих управљања дефинише се следећим ограничењима:

1. Ограничења која се односе на поједине управљачке променљиве

1.1 Ограничења јединствености интервала зелених индикација сигналних група;

1.2 Ограничења трајања минималних ефективних зелених времена сигналних група;

1.3 Ограничења трајања максималних ефективних црвених времена сигналних група;

1.4 Ограничења баланса протока (капацитета)

2. Ограничења састава управљачких вектора (фаза)

3. Ограничења која се односе на низ фаза

3.1 Ограничења редоследа фаза:

$$\mathbf{u}^{k(\text{mod } K)+1} \in \Gamma_s \mathbf{u}^k, (k \in K),$$

3.2 Ограничења минималних ефективних међузелених времена;

4. Ограничења трајања интервала у којима се даје истовремено право кретања сигналним групама између којих су минимална ефективна међузелена времена негативна.

3. КРИТЕРИЈУМИ ОПТИМАЛНОСТИ

Квалитет сигналног плана је могуће оцењивати на основу разних фактора, безбедносних, економских, еколошких и др. Овде се наводе неки који се најчешће користе:

а. Капацитет раскрснице;

б. Математичко очекивање чекања за раскрсницу;

в. Фактор капацитета;

г. Ограничења укупног збира трајања фаза;

д. Сума квадрата разлика степена засићења за поједине струје на раскрсници;

Осим наведених критеријума оптималности у задацима оптимизације сигналног плана користе се и други критеријуми као: број заустављања, трајање циклуса, трајање зеленог времена одређене сигналне групе или суме зелених времена свих сигналних група, сума квадрата разлика средњег чекања возила у појединим струјама итд.

4. РАЧУНСКИ АСПЕКТИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ НАВЕДЕНИХ КРИТЕРИЈУМА

Наведени изрази за ограничења, којима се дефинише област допустивости U_f , су функције променљивих

u_p^k и τ^k . У задатку оптимизације фактора капацитета

треба одредити и променљиву μ .

Променљиве u_p^k су бинарне променљиве тј. могу да узму само вредности 0 или 1, док су променљиве τ^k

и μ континуалне променљиве. Низ управљачких вектора, чије су компоненте променљиве u_p^k у једном

сигналном плану назива се структура сигналног плана.

Специфичност ових оптимизационих задатака се састоји у присуству ограничења 3. Које је дато у форми једног графа. Структура сигналног плана представља затворен пут на овом графу.

За познату структуру сигналног плана, изрази којима се дефинишу ограничења и критеријуми оптималности, постају функције, само променљивих τ^k и μ . Из израза за критеријуме оптималности се види да су ка-

пацитет раскрснице, трајање циклуса и фактор капацитета линеарне функције променљивих τ^k и μ .

Математичко очекивање чекања и сума квадрата разлика степена засићења су нелинеарне функције променљивих τ^k и у случају да је дата вредност трајања циклуса и у случају да није дата.

Наведени критеријуми могу се оптимизирати за познату вредност трајања циклуса c или се решавањем оптимизационог задатка одређује и оптимална вредност трајања циклуса.

Ограничења су, за дату структуру, линеарне функције променљивих τ^k и μ . Изузетак је ограничење баланса протока, у задатку максимизације фактора капацитета, које је нелинеарно, у случају кад трајање циклуса није дато. У случају, кад је време циклуса познато, задатак максимизације фактора капацитета постаје задатак линеарног програмирања.

Задатак одређивања оптималног сигналног плана, састоји се у одређивању оптималне структуре сигналног плана и оптималних вредности променљивих τ^k и μ . Одређивање вредности ових променљивих, за познату структуру сигналног плана, представља задатке линеарног или нелинеарног математичког програмирања.

За решење ових задатака развијен је алгоритам на бази концепта *гранања и ограничавања*. Операцијом *гранања* се формира структура, постепено, од једног чвора у графу додавањем следећих чворова, док се не формира комплетна структура. Операцијом *ограничавања* одређују се горње или доње границе вредности критеријума који се оптимизирају. Задаци за одређивање граница су истог типа, као и задаци за одређивање променљивих τ^k и μ за случај кад је комплетна структура позната. Ови задаци се разликују од задатака за случај комплетне структуре по томе што је број променљивих мањи, а такође и број ограничења.

За решење задатака нелинеарног програмирања важно је одредити конвексност ових задатака, због чињенице да локални минимум, у том случају, представља и глобални минимум.

Да би се испитала конвексност потребно је одредити да ли су у задатку нелинеарног програмирања: *Одредити расподелу трајања циклуса τ тако да се минимизира функција*

$$J_c(\tau)$$

при ограничењима

конвексни, функција $J_c(\tau)$ и ограничења. То значи да треба испитати да ли је Hesse-ова матрица критеријума оптималности и свих ограничења позитивно семидефинитна.

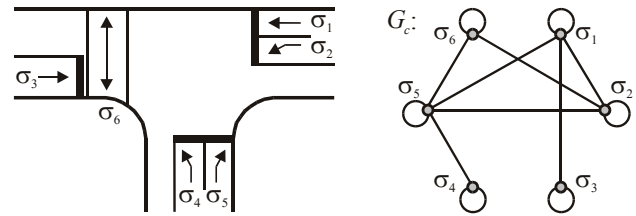
Критеријуми оптималности означени са а., в. и г. односно капацитет, фактор капацитета и трајање циклуса су линеарне функције и стога су, конвексне. - Математичко очекивање чекања и сума квадрата разлика степена засићења су нелинеарне функције. Конвексност математичког очекивања чекања је доказана у [2].

Функције $g_i(\tau)$, којима су дефинисана ограничења, су линеарне функције те су стога и конвексне [3]. Изузетак је ограничење баланса протока у задатку максимизације фактора капацитета, које је нелинеарна и неконвексна функција променљивих $\tau^1, \tau^2, \dots, \tau^K$ и μ , у случају кад није познато трајање циклуса. Међутим, кад је трајање циклуса дато ово ограничење постаје линеарно, а цео задатак постаје задатак линеарног програмирања.

5. ПРИМЕРИ

За раскрсницу приказану на **Слици 1.** и податке дате графом G_c , у **Табели 1.** и матрицом међузелених времена Z , одредити оптималне сигналне планове уколико је критеријум оптималности:

- Фактор капацитета и б. Математичко очекивање чекања.



Слика 1: Раскрсница и граф компатибилности

Табела 1: Подаци потребни за израчунавање оптималног сигналног плана

I	1	2	3	4	5	6
s_i [veh/h]	1850	1650	1620	1650	1600	0
q_i [veh/h]	185	165	162	165	160	0
g_{mi} [s]	25	15	15	15	15	16
r_{Mi} [s]	70	75	75	70	85	-

$$Z = [z_{ij}]_{I \times I} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 3 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 5 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 8 & 6 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

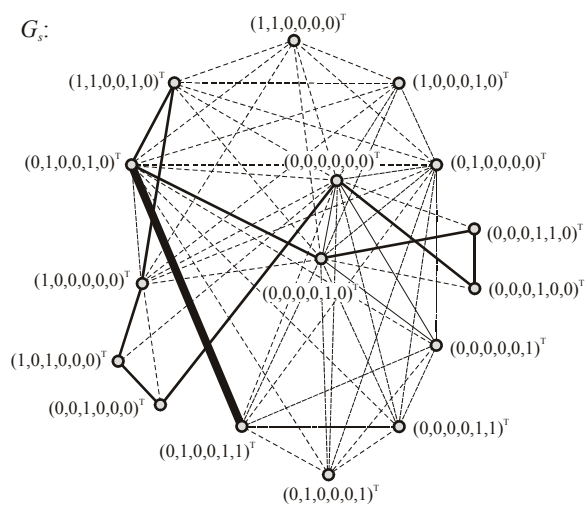
Решењем постављених задатака одређени су оптимални сигнални планови за оба случаја.

а. У случају кад је критеријум оптималности фактор капацитета нађено је 8 оптималних решења. Овде су приказани структура сигналног плана и расподела трајања циклуса τ једног оптималног решења. На Слици 2 је такође приказана ова оптимална структура.

Оптимальна (максимална) вредност фактора капацитета J_c је 2.65

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tau = [1.5 \quad 3 \quad 25.5 \quad 1 \quad 3 \quad 29 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 16 \quad 8]$$



Слика 2: Оптимална структура

б. У случају кад је критеријум оптималности Математичко очекивање чекања нађена су 2 оптимална решења. Следећа структура и расподела трајања циклуса

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

фактора капацитета

$$\tau = [13 \quad 2 \quad 1 \quad 24 \quad 4 \quad 1 \quad 19 \quad 1 \quad 1 \quad 16 \quad 8]$$

представљају једно оптимално решење. Оптимална вредност критеријума оптималности је $J=387$.

6. ЗАКЉУЧАК

Намена овог рада је детаљна анализа рачунских аспеката алгоритма за одређивање оптималног управљања саобраћајем на сигнализаној раскрсници. Задатак оптималног управљања има више, у зависности од тога који је критеријум оптималности изабран. У општем облику ово су задаци комбинаторног нелинеарног или линеарног програмирања са једном специфичношћу, која се састоји у томе, да је једно ограничење дефинисано у облику једног графа. Алгоритам решења ових задатака састоји се у одређивању најбољег затвореног пута у овом графу и одређивању расподеле трајања циклуса на поједине управљачке векторе, који су представљени чворовима графа на овом затвореном путу. Предложени алгоритми за решавање ових задатака заснивају се на концепту *метода гранања и ограничавања*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Batanović V., Guberinić S., Petrović R., "Choice of the control variables of an isolated intersection by Graph colouring", *YUJOR*, 25(2015), Nr.1, 117-131.
- [2] Guberinić, S., Šenborn, G., Lazić, B., *Optimal Traffic Control: Urban Intersection*, CRC Press, Boca Raton, 2007.
- [3] Zlobec S., Petrić J., *Nelinearno programiranje*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.



ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП ОПТИМАЛНОМ УПРАВЉАЊУ САОБРАЋАЈЕМ НА СИГНАЛИСАНОЈ РАСКРСНИЦИ

MULTYCRITERIA APPROACH TO OPTIMAL TRAFFIC CONTROL ON SIGNALIZED INTERSECTION

БРАТИСЛАВ ЛАЗИЋ

Институт Михајло Пупин, bratislav.lazic@pupin.rs

НЕБОЈША БОЈОВИЋ

Саобраћајни факултет, Београд

ВЛАДАН БАТАНОВИЋ

Институт Михајло Пупин, vladan.batanovic@pupin.rs

РАДИВОЈ ПЕТРОВИЋ

Институт Михајло Пупин, radivoj.petrovic@pupin.rs

ДРАГАН РАДОЈЕВИЋ

Институт Михајло Пупин, dragan.radojevic@pupin.rs

СЛОБОДАН ГУБЕРИНИЋ

Институт Михајло Пупин, slobodan.guberinic@pupin.rs

Резиме: Циљ управљања саобраћајем на раскрсници помоћу светлосних сигнала је омогућавање безбедног проласка кроз раскрсницу возилима и пешацима. Овај циљ може да се оствари на различите начине, односно не постоји само једно управљање тј. сигнални план којим се овај циљ остварује. Има више критеријума који служе за међусобно поређење сигналних планова. Решавањем једнокритеријумских задатака добијају се оптимални сигнални планови у смислу изабраног критеријума. Међутим, због важности појединих критеријума као што су чекање, број заустављања, капацитет, фактор капацитета, пожељно је приликом избора управљања имати у виду више критеријума оптималности. У овом раду предложен је један нов вишекритеријумски приступ овом проблему заснован на логичкој агрегацији.

Кључне речи: Управљање саобраћајем, Оптимално управљање, Вишекритеријумска оптимизација.

Abstract: The traffic control objective on signalized intersection is safe transit of vehicles and pedestrians through intersection. Different ways exist for achievement of this objective. It means that it can be realized by different signal plans. Different ways can be compared having in mind different optimization criteria. The best way can be, also chosen, on the basis of accepted criterion. There are many important criteria used for signal plans comparison like vehicles delay, number of stops, capacity, capacity factor etc. The natural intention is to select the best signal plan having in mind more optimization criteria. The new multicriteria approach is proposed in this paper. This approach is based on logical aggregation.

Keywords: Traffic control, Optimal control, Multicriteria optimization.

1. УВОД

Постоји низ фактора који су значајни при оцени квалитета саобраћајног процеса на сигнализаној раскрсници. Најважнији од њих су следећи: укупни временски губици (возила и пешака) или само чекање возила, број заустављања возила, укупни експлоатациони трошкови, потрошња горива, утицај на човекову средину, односно ниво загађивања издувним гасовима, и буке (посебно од убрзавања и кочења). Осим тога, у условима сталног повећавања броја возила у градовима веома је важан показатељ број возила који може да прође кроз раскрсницу у јединици времена, односно

капацитет, како за један прилаз тако и за целу раскрсницу. Максимална или средња дужина реда коју формирају возила на неким или на свим прилазима такође може да буде показатељ квалитета управљања процесом на раскрсници.

Оптимизацијом неког од наведених критеријума утиче се на смањење неких од негативних последица одвијања саобраћајног процеса (чекање, број заустављања, потрошња горива итд) или се повећава нека критеријумска величина која треба да буде што је могуће већа, нпр. капацитет. Тада се реч оптимизација интерпретира тако што је пожељно да се пронађе упра-

вљање којим се постиже задовољавајућа вредност свих придружених критеријума. Стога се може рећи да је управљање саобраћајним процесом на сигналисаној раскрсници по својој природи типичан вишекритеријумски оптимизациони задатак. Појава више критеријума оптимизације у поставци задатка уноси један додатни крупан проблем. Поставља се питање да ли су сви критеријуми оптимизације подједнако важни или не. Одговор на ово питање је по својој суштини субјективне природе, па се субјективизам у вишекритеријумској оптимизацији не може избећи. Тако у ригорозну оптимизациону методологију непосредно улази, у основи, субјективна интерпретација система вредности, у сваком конкретном проблему

2. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП ОДРЕЂИВАЊУ СИГНАЛНОГ ПЛАНА

У извесним случајевима задатак вишекритеријумске оптимизације могуће је трансформисати у задатак једнокритеријумске оптимизације где тај, изведени јединствени, критеријум представља пондерисану суму више критеријума дефинисаних у почетној поставци проблема. На примеру сигналисане раскрснице типичан критеријум овог типа је пондерисана сума укупног чекања и броја заустављања возила на раскрсници. Тако је, уместо типичног једнокритеријумског оптимизационог задатка где је критеријум оптималности укупно чекање на раскрсници или број заустављања возила, сада критеријум оптималности пондерисана сума ових величина.

$$J_c = k_0 c + k_1 H = k_0 \left(c + \frac{k_1}{k_0} H \right) = k_0 (c + k'H) = k_0 J'$$

где је V укупно чекање а H укупан број заустављања возила у одређеном интервалу, који је најчешће једнак трајању циклуса, а k_0 и k_1 , су тежински коефицијенти. Смањивањем и једног и другог сабирка у изразу за J_c , смањују се и неки други непожељни ефекти као што су загађивање животне средине и бука, потрошња горива и укупни трошкови повезани са процесом на једној раскрсници.

Укупни трошкови који се могу придружити једној раскрсници састоје се из трошкова повезаних са возилом и трошкова повезаних са “изгубљеним” временом путника који се налазе у возилима. Трошкови повезани са возилом се састоје од трошкова за гориво и маживо, затим од трошкова повезаних са хабањем гума и хабањем кочница. У те трошкове такође треба укључити и трошкове амортизације.

Трошкови путника зависе од оцене вредности времена које они проведу у возилима. За оцену ове вредности потребно је узети у обзир попуњеност возила, процент путника који вози у радно и нерадно време, национални доходак по становнику у одређеном граду итд.[1].

Минимизација критеријума J_c , с обзиром да је k_0 константа, своди се на минимизацију критеријума J' . Притом је потребно одредити само једну константу – k' (stop penalty). Ова константа има различите вред-

ности, у зависности од тога да ли се жели минимизирати потрошња горива, укупни трошкови, емисија штетних гасова, бука и сл. Типичне вредности k_0 ако се минимизира потрошња горива налазе се између 30 и 60 [2].

У случају кад не постоји заједничка мера вредности појединих критеријума, критеријум који представља пондерисану суму више различитих критеријума не представља најбољу формулацију задатка вишекритеријумске оптимизације. Одређивање пондерационих фактора, у том случају представља значајан проблем. У циљу решавања оваквих задатака развијен је нов метод који је примењен у овом раду.

3. НОВ МЕТОД РЕШАВАЊА ПРОБЛЕМА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

Веома важни критеријуми оптималности за избор управљања су укупно чекање возила пред раскрсницом и фактор капацитета. Због њихове важности нов метод ће се применити за решавање проблема вишекритеријумске оптимизације узимајући у обзир баш ова два критеријума. Укупно чекање возила пред раскрсницама мери се бројем возилосекунди, док се фактор капацитета изражава неименованим бројем, којим се помноже протоци саобраћајних струја.

Укупно средње време задржавања возила (чекање) на прилазима раскрсници је критеријум који се у пракси најчешће користи. Минимизацијом овог критеријума постижу се вишеструки позитивни ефекти: економски, еколошки и др. Новчани еквивалент јединице чекања, који обухвата потрошену енергију и вредност времена које путници проведу у возилу, одређује се релативно једноставно [1]. Чекање за целу раскрсницу се одређује као сума чекања на свим прилазима. Аналитичка релација између вредности овог критеријума и управљања је формулисана у низу метода који служе за избор сигналног плана [3].

Приликом решавања управљачког проблема неопходно је за сваку саобраћајну струју (сигналну групу) обезбедити довољно зеленог времена, тако да практични капацитет буде већи од средњег долазног протока за сваку возачку струју (сигналну групу). Међутим, приликом избора сигналног плана треба настојати да практични капацитет свих прилаза буде довољан и за случај да се долазни протоци возила измене. Протоци долазних саобраћајних токова могу да се мењају на различите начине. Неки протоци могу да се смањују, други да се повећавају, а неки да остану исти. Могу, такође, сви протоци да се повећавају или смање у истој сразмери.

За практичне сврхе користи се претпоставка да је ова промена релативно једноставна, тј. да се сви протоци повећавају или смањују у истој сразмери [3], [4]. Тада се за критеријум, на основу кога ће се бирати сигнални план може одабрати један број, k , којим треба помножити све средње протоке струја возила, а да при-

том ограничења капацитета буду и даље задовољена, тј.

$$J_c = k.$$

За решавање овог проблема прикладнија је *Логичка агрегација* од коришћења просте пондерисане суме.

Пондерисана сума није у стању да моделује логичке интеракције између анализираних атрибута (парцијалних захтева). Да би се ово ограничење превазишло потребно је у процес одлучивања експлицитно увести логику. Пошто је класична логика намењена за „црно-беле“ проблеме неопходно је укључити реално-вредносну логику познату под именом *фази логика* [5]. Ограничење конвенционалне фази логике је чињеница да се она не налази у Буловом оквиру, тј. није Буловски конзистентна. Овај проблем је превазиђен реализацијом коначне Буловски конзистентне реално-вредносне логике [6] познате под именом – Интерполативна Булова алгебра (ИБА). ИБА задовољава у општем реално-вредносном случају све Булове аксиоме и теореме. Логичка агрегација заснована на ИБА описана је у [7]. У случају логичке агрегације – свођења више атрибута применом одговарајућег логичког израза у резултујући критеријум, неопходно је претходно извршити адекватну нормализацију атрибута – аспеката одлучивања, тако да се њихове вредности налазе у опсегу [0, 1].

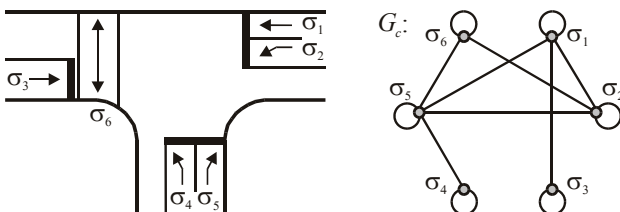
Нпр. у анализираним проблему циљ је да се управљањем смањи укупно чекање возила пред раскрсницом - s и повећа фактор капацитета - k . Означимо са s и k нормиране вредности укупног чекања и фактора капацитета, респективно. Резултујући критеријум добијен логичком агрегацијом гласи:

$$\begin{aligned} \max \bar{c} \wedge k &= \max(1 - c)k \\ &= \max(k - ck) \end{aligned}$$

Циљ је да се истовремено максимизира фактор капацитета и негација укупног чекања возила пред раскрсницом. (Максимизација негације анализираних величине исто је што и њена минимизација).

4. ПРИМЕР

За податке коришћене у задацима једнокритеријумске оптимизације у примеру рада *Рачунски аспекти одређивања оптималног управљања саобраћајем на сигнализаној раскрсници*, који је објављен у зборнику овог симпозијума, решити проблем вишекритеријумске оптимизације у случају кад су критеријуми оптималности *укупно чекање и фактор капацитета*.



i	1	2	3	4	5	6
S_i [veh/h]	1850	1650	1620	1650	1600	0
Q_i [veh/h]	185	165	162	165	160	0
g_{mi} [s]	25	15	15	15	15	16
r_{Mi} [s]	70	75	75	70	85	–

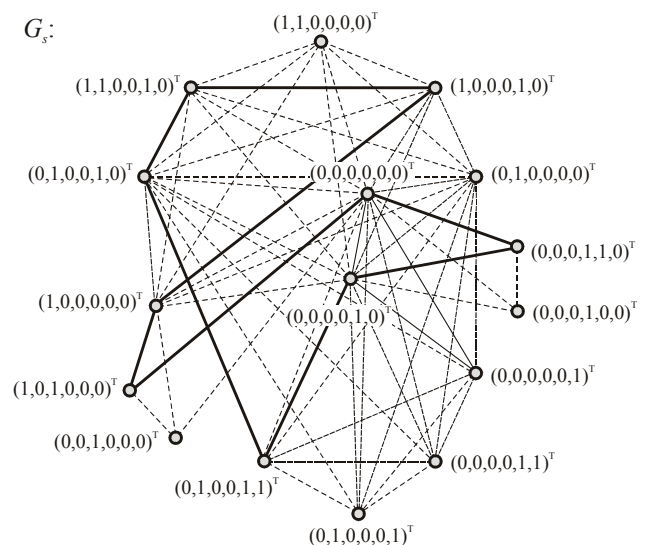
$$Z = [z_{ij}]_{1 \times 1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 3 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 5 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 8 & 6 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Оптимално решење је дато структуром u и расподелом трајања циклуса τ .

$$u = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tau = [1.57 \quad 0.94 \quad 1.92 \quad 25.29 \quad 4.86 \quad 29.70 \quad 1.86 \quad 16 \quad 7.86]$$

Структура оптималног решења приказана је, такође, пуном линијом на графу слеђења, који је приказан на **Слици 1**.



Слика 1. Оптимална структура

Оптимална вредност фактора капацитета је 2.53 а чекања 416.

Оптималне вредности чекања и фактора капацитета у једнокритеријумским задацима износе 387 и 2.65.

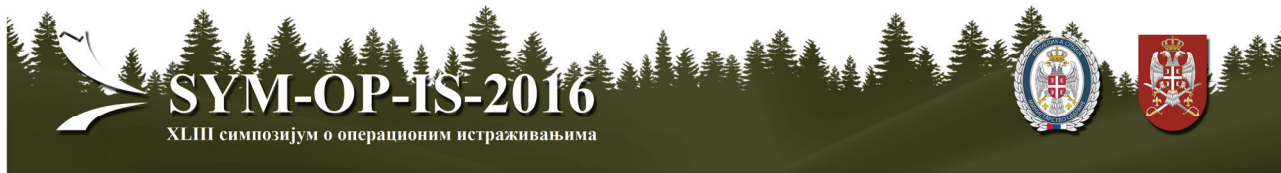
5. ЗАКЉУЧАК

Постоји више важних критеријума оптималности које је пожељно оптимизирати приликом решавања проблема управљања саобраћајем на сигнализаној раскрсници. Због тога је, при решавању задатка управљања саобраћајем на сигнализаној раскрсници, неопходно применити вишекритеријумски приступ. У раду је решен вишекритеријумски оптимизациони задатак у случају кад су критеријуми оптималности чекање и фактор капацитета.

За решење проблема коришћен је нов метод вишекритеријумске оптимизације заснован на интерполативној буловој алгебри (ИБА). Добијени резултат представља компромис решења једнокритеријумских задатака.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stojanović S., Guberinić S., "Cena koštanja čekanja vozila u jedinici vremena", *Saobraćaj u gradovima*, br. 4, pp. 9-15, 1977.
- [2] Guberinić, S., Šenborn, G., Lazić, B., *Optimal Traffic Control: Urban Intersection*, CRC Press, Boca Raton, 2007.
- [3] Akcelik R., Traffic Signals: "Capacity and Timing Analysis", *Australian Road Research Board, Research Report ARR 123*, 1981.
- [4] Allsop R.E., "Optimisation of Timings of Traffic Signals", *AIRO Conf.*, Guida Editori, Napoli, pp. 103-120, 1983.
- [5] L. A. Zadeh (1965) "Fuzzy sets". *Information and Control* 8 (3) 338–353.
- [6] D. Radojević, "Interpolative Realization of Boolean Algebra as a Consistent Frame for Gradation and/or Fuzziness", *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Volume 218, 2008, pp 295-317
- [7] D. Radojevic, "Logical Aggregation Based on Interpolative Boolean Algebra", *Mathware & Soft Computing* 15 (2008) 125-141.



ПРОГНОЗА ИЗВОЗА И УВОЗА ЖИТАРИЦА ПРЕКО РЕЧНИХ ЛУКА У СРБИЈИ

FORECAST OF GRAIN EXPORTS AND IMPORTS THROUGH RIVER PORTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

ИВАНА ЈОВАНОВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, ivana.jovanovic@sf.bg.ac.rs

ИВАНА ВУКИЋЕВИЋ БИШЕВАЦ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, i.vukicevic@sf.bg.ac.rs

ДАНИЈЕЛА ПЈЕВЧЕВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, danijela@sf.bg.ac.rs

КАТАРИНА ВУКАДИНОВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, k.vukadinovic@sf.bg.ac.rs

Резиме: У раду је коришћена екстраполација тренда за прогнозирање извоза и увоза житарица преко речних лука у Србији. Поред тога, моделирана је и функционална веза између Бруто домаћег производа (БДП) Србије и извоза житарица преко речних лука Србији. На основу прогнозираних вредности БДП-а извршена и прогноза извоза житарица.

Кључне речи: Речне луке, Житарице, Прогноза, Метода најмањих квадрата

Abstract: We used trend extrapolation to forecast grain exports and imports through river ports in the Republic of Serbia. We modelled a functional relationship between gross domestic product (GDP) and grain exports. Based on estimated values of GDP we determined a forecast of grain exports through river ports.

Keywords: River ports, Grain, Forecast, Least squares method

1. УВОД

Прогноза лучког промета је комплексан задатак. Резултати извршених анализа и прогнозиране вредности утичу на стратешке одлуке које доноси лучки оператер, пре свега на дефинисање развојних планова луке. На лучки промет утичу бројни фактори, као што су бруто домаћи производ, принос обрадивог земљишта, укупни увоз и извоз и др. Између свих ових фактора може да постоји сложена нелинеарна веза коју је тешко изразити (математички описати). Поред тога, лучки промет одсликава стање економије у залеђу луке [1]. Због свега наведеног прогнозирање промета представља један од кључних задатака који се поставља пред лучког оператера.

У раду је коришћена екстраполација тренда за добијање прогнозе извоза и увоза житарица преко речних лука у Србији, установљено је да је најповољнија линеарна веза, а за одређивање параметара тренда коришћена је метода најмањих квадрата.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Прогнозе лучког промета су најчешће засноване на функционалним везама између промета у луци и демографског, економског и индустријског развоја [2]. У литератури је најчешће моделирана веза између

економских активности (БДП-а) и лучког промета [1] и [2].

Аутори су у [2] анализирали постојеће методе за прогнозу и могућности њихове примене за дугорочно прогнозирање (до 2100. године). За прогнозирање су користили три линеарне зависности лучког промета у Западној Европи од БДП-а. Аутори у [3] су прогнозирали промет контејнера у луци у Шангају. Најбољи резултати су остварени комбинацијом модела за прогнозирање и Вештачких неуронских мрежа. Приступ заснован на Генетском програмирању за прогнозирање промета контејнера у већим лукама на Тајвану коришћен је у [4].

3. УВОЗ И ИЗВОЗ ЖИТАРИЦА ПРЕКО РЕЧНИХ ЛУКА У СРБИЈИ

Захваљујући повољним кретањима у погледу цене житарица на међународном тржишту, које достижу свој максимум у задњих неколико година, приметан је тренд повећања производње житарица у Републици Србији [5]. Повећање приноса обрадивог земљишта при постојећем коришћењу земљишта представља шансу да луке повећају промет прилагођавањем развојних планова, планова инвестиционих улагања у инфраструктуру и опрему будућем очекиваном

промету. У табели 1 приказано је учешће већих лука у Србији у укупном извозу житарица по годинама.

Табела 1: Извоз житарица по лукама у Србији.

	Укупно (у тонама)	Београд	Нови Сад	Панчево	Смедерево	Остале луке
2004	26144	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%
2005	502737	1.9%	42.4%	28.2%	0.0%	27.6%
2006	739902	2.2%	47.9%	26.3%	0.2%	23.4%
2007	840853	2.8%	47.7%	26.2%	0.2%	23.1%
2008	276840	0.0%	57.0%	20.3%	0.0%	22.6%
2009	1217741	3.4%	45.0%	27.3%	0.9%	23.5%
2010	1432727	4.0%	39.8%	34.8%	1.1%	20.2%
2011	1286108	1.6%	42.2%	22.9%	2.9%	30.3%
2012	1805053	3.6%	45.3%	28.3%	1.8%	21.0%
2013	1229600	1.4%	39.7%	36.7%	2.9%	19.3%
2014	1534682	2.6%	48.6%	31.1%	1.4%	16.2%

Извор: Саобраћај и телекомуникације у Републици Србији, од 2004 до 2014. године, Билтен

С обзиром да су лука у Новом Саду (Лука Нови Сад) и лука у Панчеву (Лука "Дунав" Панчево) лоциране у близини највећих произвођача житарица, преко ове две луке се реализује 2/3 укупних извозних токова житарица отпремљених унутрашњим водним саобраћајем. Планови развоја луке у Новом Саду обухватају повећање производности код претовара житарица. Житарице имају значајно учешће у лучком промету Луке Дунав Богојево, Луке Бачка Паланка, Луке у Апатину (лучки оператер Напредак), Луке Сента на Тиси и др [7].

Тржиште житарица у Србији дуго је било заштићено високим царинама, што је основни узрок малих количина житарица које се увозе (Табела 2).

Услед имплементације Споразума о стабилизацији и придруживању и Прелазног трговинског споразума са Европском Унијом, ситуација се мења ка делимичној либерализацији увоза [5], што ће утицати и на повећање увоза житарица у Србију.

Табела 2: Увоз житарица по лукама у Србији.

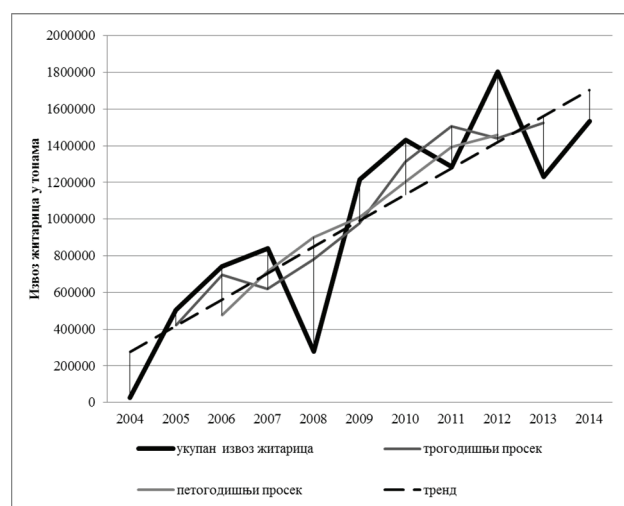
	Укупно (у тонама)	Београд	Нови Сад	Панчево	Смедерево	Остале луке
2004	101395	41.8%	24.2%	11.5%	13.9%	8.6%
2005	33517	0.0%	44.8%	0.0%	8.9%	46.2%
2006	20026	0.0%	18.8%	18.8%	6.0%	56.5%
2007	26329	0.0%	20.3%	37.4%	11.9%	30.4%
2008	36727	5.3%	20.6%	42.5%	2.7%	28.9%
2009	20485	23.0%	6.7%	16.7%	7.5%	46.1%
2010	17330	8.3%	12.4%	0.0%	20.3%	59.0%
2011	28096	4.1%	5.3%	2.6%	19.9%	68.1%
2012	16351	0.0%	17.3%	0.0%	4.4%	78.3%
2013	16579	0.0%	0.0%	10.5%	0.0%	89.5%
2014	30231	0.0%	2.6%	0.0%	11.9%	85.5%

Извор: Саобраћај и телекомуникације у Републици Србији, од 2004 до 2014. године, Билтен

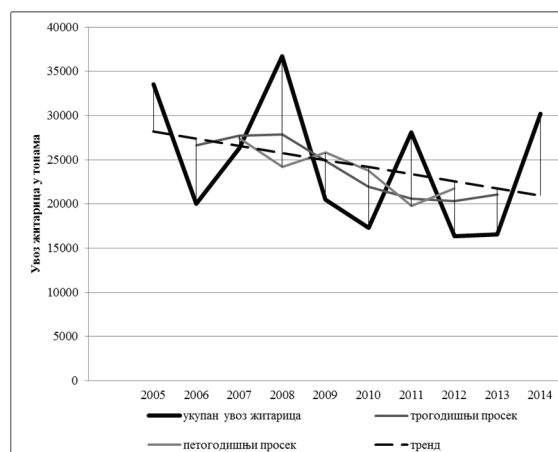
4. ТРЕНД РАСТА

Користећи податке о годишњем увозу и извозу житарица преко речних лука у Србији, рачунањем покретних средина за трогодишњи и петогодишњи период, установљено је да је најповољнија линеарна веза количине житарица по годинама. Коришћена је Метода најмањих квадрата за одређивање параметара тренда. За податке о извозу житарица коришћене су године од 2004. до 2014., док је за податке о увозу житарица коришћен период 2005. до 2014. године.

Подаци о извозу и увозу житарица преко речних лука у Србији по годинама представљени су на сликама 1 и 2.



Слика 1: Извоз житарица преко лука у Србији по годинама (у тонама).



Слика 2: Увоз житарица преко лука у Србији по годинама (у тонама).

Опште тенденције промене извоза и увоза житарица преко речних лука у Србији могу се представити једначинама правих:

$$I = 142655x - 285602619 \quad (1)$$

$$U = -804x + 1639974 \quad (2)$$

где су:

I – количина извезених житарица (у тонама),

U – количина увезених житарица (у тонама),

x – година.

Добијени су коефицијенти корелације $r_I = 0,848$ и $r_U = -0,328$.

Затим је вршена провера хипотеза о постојању тенденције, провером разлике средњих нивоа. Временске серије су подељене на два дела, и испитивана је разлика средњих вредности (као и једнакост дисперзија F тестом Фишера). За оба случаја, за извоз и за увоз, потврђене су хипотезе присуства тенденције.

5. ПРОГНОЗА

У раду је коришћена екстраполација тренда за добијање прогнозе извоза и увоза житарица преко речних лука у Србији. Имајући у виду да су и у прошлости појединачне вредности вариране око тренда, и да би требало очекивати да ће тако бити и у будућности определили смо се за одређивање интервала прогнозираних вредности.

Према [6] интервал поверења за тренд је:

$$\hat{y}_t \pm t_{\alpha} s_y \quad (3)$$

где су:

\hat{y}_t – тренд вредност која одговара нивоу y_t

s_y – средња квадратна грешка тренда

t_{α} – статистика Студента за $n-l$ степени слободe,

n – број података у временској серији

l – број оцењених параметара (у случају праве, $l=2$).

Ако са L означимо период прогнозе и узмемо у обзир да интервал поверења прогнозе, осим варијације тренда мора да обухвати и одступање стварних података око тренда, онда ће одговарајући интервал поверења прогнозе бити:

$$\hat{y}_{t+L} \pm t_{\alpha} s_y K \quad (4)$$

где је s_y средње квадратно одступање стварних података од израчунатих (по тренду), а K константа која се рачуна као:

$$K = \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{3(n+2L-1)^2}{n(n^2-1)}} \quad (5)$$

Овом методом добија се интервал прогнозе који зависи од периода прогнозе и шири се што је тренутак прогнозе даљи од последњег стварног податка, тиме

узимајући у обзир повећање неизвесности са удаљавањем од последњег стварног податка.

За прорачун је коришћен ниво поверења (вероватноће) од 0,9.

У табели 3 представљене су израчунате вредности доње и горње границе интервала поузданости прогнозе извоза житарица преко лука у Србији, а у табели 4 су прогнозиране вредности увоза житарица преко лука у Србији.

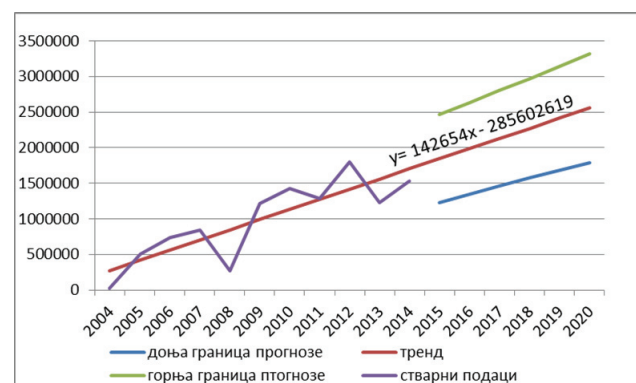
Табела 3: Прогнозиране вредности извоза житарица преко лука у Србији (у тонама)

Година	Доња граница прогнозе	Тренд	Горња граница прогнозе
2015	1230364	1846144	2461924
2016	1347874	1988798	2629722
2017	1462690	2131453	2800216
2018	1575133	2274107	2973082
2019	1685497	2416762	3148026
2020	1794046	2559416	3324787

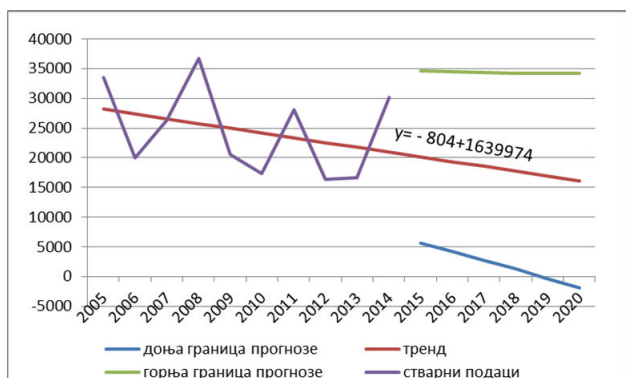
Табела 4: Прогнозиране вредности увоза житарица преко лука у Србији (у тонама)

Година	Доња граница прогнозе	Тренд	Горња граница прогнозе
2015	5612	20146	34680
2016	4214	19342	34469
2017	2753	18538	34323
2018	1236	17734	34232
2019	-330	16930	34190
2020	-1938	16126	34191

Ове вредности графички су приказане на сликама 3 (извоз житарица) и 4 (увоз житарица).



Слика 3: Тренд, доња и горња граница прогнозе извоза житарица преко лука у Србији.



Слика 4: Тренд, доња и горња граница прогнозе увоза житарица преко лука у Србији

Као што је раније наведено, многи аутори указују на постојање јаке функционалне везе између БДП-а и лучког промета. У овом раду је моделирана зависност између БДП-а Србије и извоза житарица преко речних лука у Србији.

Табела 5: БДП Србије и извоз преко лука у Србији од 2004. до 2014. године

Године	БДП Србије (у милијардама УСД)	Извоз (у тонама)
2004	24,743	26144
2005	26,075	502737
2006	30,721	739902
2007	40,499	840853
2008	49,165	276840
2009	42,611	1217741
2010	39,035	1432727
2011	46,488	1286108
2012	40,749	1805053

Из анализе је искључена 2008. година зато што постоји велико одступање. Добијена је следећа линеарна зависност:

$$I = 54859x - 1024770 \quad (6)$$

где је:

x - БДП у милијардама УСД (Амерички долар).

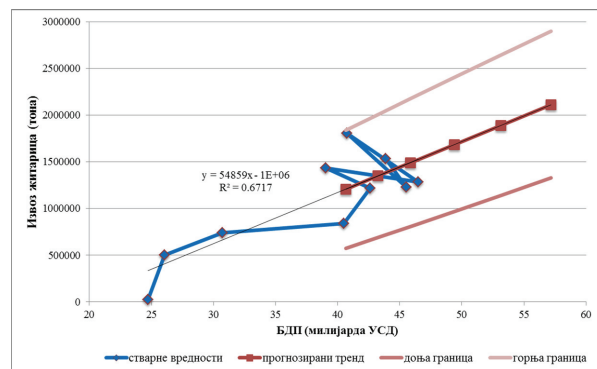
Добијен је коефицијент корелације $r_f = 0,820$ за зависност количине увезених житарица од БДП-а Србије. У табели 6 и на слици 5 приказани су тренд и доња и горња граница прогнозе извоза житарица из лука у Србији.

Табела 6: Прогнозиране вредности извоза житарица преко лука у Србији, према процењеном расту БДП.

Године	Прогнозиран БДП ¹ (у милијардама УСД-а)	Доња граница прогнозе	Тренд	Горња граница прогнозе
2015	40,665	573992	1206070	1838148
2016	43,254	690212	1348100	2005987

¹ Међународни монетарни фонд, <http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28>

Године	Прогнозиран БДП ¹ (у милијардама УСД-а)	Доња граница прогнозе	Тренд	Горња граница прогнозе
2017	45,854	804270	1490733	2177196
2018	49,404	968008	1685482	2402957
2019	53,14	1139816	1890435	2641055
2020	57,191	1327041	2112669	2898297



Слика 5: Тренд и доња и горња граница прогнозе извоза житарица преко лука у Србији, зависност од БДП-а

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је извршена анализа тренда и прогноза извоза и увоза житарица преко речних лука у Србији за период до 2020. године. Поред тога, уочена је и јака функционална веза између извоза житарица преко лука у Србији и БДП-а Србије ($r_f = 0,820$). Имајући у виду да је увоз житарица преко лука у Србији био под утицајем високих царина, између увоза преко лука у Србији и БДП-а Србије није дефинисана функционална веза. У будућим истраживањима у анализу ће бити укључено више фактора који утичу на лучки промет.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Geng, J., Li, M. W., Dong, and Liao, Y. S., *Port throughput forecasting by MARS-RSVR with chaotic simulated annealing particle swarm optimization algorithm*, Neurocomputing, vol. 147, pp. 239–250, Jan. 2015.
- [2] Van Dorsser, C., Wolters, M. and van Wee, B., *A Very Long Term Forecast of the Port Throughput in the Le Havre Hamburg Range up to 2100*, European Journal of Transport and Infrastructure Research, pp. 88, 2012.
- [3] Liu, Z., Ji, L., Ye, Y., and Geng, Z., *Combined forecast method of port container throughput based on RBF neural network*, Journal-Tongji University, vol. 35, no. 6, pp. 739, 2007.
- [4] Chen, S. H., Chen, J. N., *Forecasting Container Throughputs at Ports Using Genetic Programming*, Expert Syst. Appl., vol. 37, no. 3, pp. 2054–2058, Mar. 2010.
- [5] Студија: *Анализа трендова у производњи и трговини пољопривредних производа из Војводине у*

односу на производњу и трговину у Србији, региону, ЕУ и свету, аутор: СЕЕДЕВ, клијент: Покрајинска Влада Војводине, 2012.

- [6] Вукадиновић, С., Поповић, Ј., *Збирка решених задатака из математичке статистике*, Научна књига, Београд, 1988.

- [7] *Стратегија развоја водног саобраћаја Републике Србије од 2015. до 2025. године*, аутор: Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет и др., 2014.



ИНОВАТИВНИ КОНЦЕПТ АДРЕСИРАЊА У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА НОВИХ ПОСЛОВНИХ МОДЕЛА ПОШТАНСКИХ ОПЕРАТОРА

THE INNOVATIVE CONCEPT OF ADDRESSING AS A MEANS TO DEVELOPING NEW BUSINESS MODELS OF POSTAL OPERATORS

ЈЕЛЕНА МИЛУТИНОВИЋ, БИЉАНА ГРГУРОВИЋ, СЛАВИЦА ШТРБАЦ

Висока школа струковних студија за информационе и комуникационе технологије, Београд,
jelena.milutinovic@ict.edu.rs, biljana.grgurovic@ict.edu.rs, slavica.strbac@ict.edu.rs

Резиме: Актуелни процес либерализације тржишта поштанских услуга и промена традиционалног монополског у профитно пословање јавних поштанских оператора значајно утиче на промену пословне политике и ставља у фокус смањење трошкова, имплементацију иновативних решења у рад поштанских оператора и тражење нових пословних могућности. Нови приступ адресирању има потенцијал да прошири постојеће тржиште, а прикупљање података путем поштанске инфраструктуре и развој нових комуникационих образаца је од изузетног значаја, како за унапређење поштанске делатности, тако и за функционисање локалних заједница и даљи развој хуманог концепта универзалне поштанске услуге.

Кључне речи: поштански оператори, ГИС, адресирање, IoT

Abstract: The current process of liberalization of the postal service market and the changes of the traditional monopolized market into a profitable public postal operators has a significant impact on the changes of business policy and puts an emphasis on reducing expenses, implementing innovative solutions to postal operators' work and searching for new business opportunities. The new approach to addressing has the potential to expand the existing market, while the gathering of data through postal infrastructure and development of new communication forms is of vital significance for postal business development, as well as for functioning of local communities and further development of the humane concept of universal postal service.

Keywords: postal operators, GIS, addressin, IoT.

1. УВОД

Поштанска мрежа – изграђени капацитети повезани у функционалну целину, са обученим људством и великим оперативним искуством, пружа јавном поштанском оператору (ЈПО) значајну конкурентску предност у односу на приватне операторе. На неким тржиштима која су у развоју, због недостатка конвенционалне инфраструктуре, пошта се јавља и као једини оператор који омогућује пренос писмоносних и робних пошиљака директно до корисника. Поред традиционалне улоге повезивања уласком у област електронске трговине истовремено постаје и јединствена платформа финансијске и социјалне инклузије дајући видљивост и вредност произвођачима и производима који не могу да буду конкурентни на традиционалном тржишту.

2. НОВИ ТРЕНДОВИ НА НИВОУ UPU

Нови пројекат Светског поштанског савеза (UPU) под називом „EcomPro” (јул 2015.) обрађује низ активности које је неопходно спровести у циљу коорди-

нације и убрзаног развоја електронске трговине у поштанском сектору од онлајн наручивања, прикупљања наруџбина, плаћања, процедура царинења, уручења, праћења, па све до враћања неуручених пошиљака. У оквиру овог пројекта ради се на развоју решења за уручења од стране UPU и мултифункционалне интегрисане инфраструктуре за једноставан и поуздан приступ поштанским услугама [1]. Почевши од 2016. године ЈПО морају да прелиминарно обезбеде информације о садржају пошиљака царинским органима, па се очекује да ће ова мера убрзати кретање пошиљака у међународном саобраћају. Такође, примаоци пошиљака ће моћи да бирају место уручења.

3. ГИС У ФУНКЦИЈИ ПОШТАНСКОГ САОБРАЋАЈА

Према извештају WIK-а (WIK Consult), водећег немачког истраживачког и саветодавног института за комуникационе услуге, употреба аналитичких алата у процесу доношења одлука је утростручена у последњих пет година. Један од најзначајнијих је географски информациони систем (ГИС) – рачунарски систем за

прикупљање, складиштење, управљање и анализу свих врста географских података [2].

Поштанска индустрија је уверена да, осим конкретног решавања проблема оптимизације рута у фази доставе пошиљака која је означена као највећи извор трошкова, али и са највећим потенцијалом за уштеду, ГИС може да одговори на бројне изазове у свакодневном пословању на сва три нивоа планирања (оперативно, тактичко и стратегијско), али и да отвори нове могућности.

Интеграција са моделима и методама просторне анализе омогућује сложеније и софистицираније анализе – симулације различитих ситуација и предвиђања могућих сценарија, као и креирање модела и метода заснованих на вештачкој интелигенцији – повезивање ГИС-а са експертским системима, неуронским мрежама, фази системима, метахеурстиком, агент технологијом [3].

Конкретне мере у спровођењу одређених алгоритама за оптимизацију рута захтевају врло прецизне и детаљне улазне податке и информације о временским интервалима или тренуцима прикупљања, односно доставе пошиљака.

Када се уоче предности ГИС-а и укаже на практичну примену, необично је у како малој мери је он заступљен у процесима одлучивања. Разлог лежи у томе што се углавном парцијално утврђују домени употребе овог алата, без јасног увида у све могућности и његову свеобухватност.

4. УПРАВЉАЊЕ АДРЕСНИМ ПОДАЦИМА

Један од основних проблема поштанских управа је управљање адресним подацима – стално преиспитивање валидности и подударања база података са стањем на терену.

Проблематика адресирања је врло актуелна јер се сматра да се геокодирањем може успоставити универзални адресни код који би могао да свим земљама, а посебно земљама у развоју, омогући значајнију економску активност. Чињеница је да је на конференцији Global Envelope Alliance одржаној у октобру 2011. у Вашингтону утврђено да у свету тренутно постоји око 4 милијарде људи који не могу да користе услуге поште јер немају физичку адресу.

Подаци којима се располаже о броју особа које нису повезане поштанском мрежом значајно варирају – од 17% до 80% [4] јер непостојање адресе отежава утврђивање физичке егзистенције људи. Врло обесхрабрујуће звучи податак да можда 2/3 светског становништва нема адресу, била она универзална или не, па поштанску индустрију очекује велики посао придруживања адреса физичким лицима.

Поред тога, социјално постоји огроман интерес за одговарајућим адресним системом - нпр. координација у случају природних катастрофа или контрола заразних

болести где је ефикасна логистика најважнији, а чији значај владе, функционери и политичари очигледно још увек нису препознали као неопходност [4].

У једном од најбољих адресних система у свету, у Великој Британији, истраживањем се дошло до тога да би ажурирање 1% адресних података смањило трошкове за око 25 милијарди евра. У САД неуручене пошиљке праве USPS-у трошкове од 1,6 милијарди долара годишње [5]. Ситуација постаје неповољнија са повећањем броја пакета у прекограничној е-трговини где, због немогућности комерцијалних шпедитера да верификују међународне адресе, одређен број пошиљки нестаје или се враћа пошиљаоцу.

Значајне економске предности за привреду једне земље уколико има одговарајући систем адреса су препознате од стране UPU и преточене у иницијативу „Адресирање света, адреса за све“ [1] која окупља академску јавност и званичнике тражећи да се подигне свест о овом питању у оквиру УН и међу утицајним непрофитним организацијама као и да се обезбеди доступност информација о најбољој пракси земљама које желе да усвоје систем адресирања.

Геокодирање би могло утицати на снижење трошкова имплементације адресног система и на успостављање универзалног светског стандарда. Геокод представља број или шифру која се односи на физичку локацију. Међународни адресни систем на основу стандардног геокодирања има предиспозицију да на најефикаснији начин доведе до значајне експанзије глобалног адресног система што представља један од највећих потенцијала поштанске индустрије. Као што у виртуелном свету сваки рачунар и сервер имају IP адресу, свака локација на Земљи треба да има свој геокод, заснован на коду изведеном од географске дужине и ширине [5].

Posttude

Малезијска компанија *Theta Edge* је развила „open source“ платформу под називом „Posttude“ која је тестирана у Малезији. Систем се састоји из три нивоа у коме се петоцифрени код примењује на великом простору, деветоцифрени на мањем простору, док би 13 цифара у коду обезбеђивало детаљан опис локације површине 10x10m [6]. Кодови се заснивају на географској дужини и ширини и врло једноставним математичким операцијама се могу прерачунавати и конвертовати, а циљ није био да се направи нови адресни код који би заменио стари, већ да се установи нови начин идентификовања локације.

w3w

Карактеристично за ову области јесте и појава потпуно нових и другачијих решења, као што је подела површине земље на 57 трилиона (10^{12}) квадрата површине 3x3m. Сваком квадрату су додељене три случајно генерисане речи којима се једнозначно одређује та површина (What3words.com). Идеја је потекла из решавања истог проблема који је раније уочен – руралне области или слабо насељене области, затим ве-

лике зелене површине, паркови, немају своје адресе. Овај сервис се може инсталирати као апликација (iOS, Android), а доступан је и компанијама за услужно мапирање. База за ову услугу је Гуглова мапа, па су корисницима ове услуге доступни и сви подаци интегрисани у њу.

Агатех, међународна експрес, курирска служба, један од значајних глобалних провајдера свеобухватне логистике и транспортних решења, који послује у 54 земље, почео је да користи овај адресни систем улажући значајна новчана средства у имплементацију овог иновативног решења у домену last mile уручења у процесу извршавања свих логистичких операција које настају као последица е-трговине на Блиском истоку, Азији и Африци.

Британска фирма Direct Today Couriers је смањила број неуспелих испорука за 83% коришћењем ове иновативне технологије. У мају је Mongol Post прихватила w3w као национални адресни стандард.

.post

Учени проблеми и бригаа за корисника иницирали су стварање и поуздане интернационалне електронске платформе регулисане од стране UPU која интегрише физичке, финансијске и електронске димензије поште: .post. Ова платформа нуди повезивање физичке и електронске адресе у јединствен идентификатор. Корисник једноставно ажурира .post идентификатор где год да се налази, чиме даје нову адресу на коју се пошиљка може доставити. Ажурирањем адресе смањују се губици који се односе на неуручиве поштиљке.

Једна од улога идентификатора је и филтрирање директне поште од стране корисника, чиме се количина нежељене поште значајно смањује, а пошиљкаоцима пружа могућност прилагођавања преференцијама самих корисника. Платформа такође омогућује странама укљученим у трансакције да знају тачне вредности царине и пореза пре него што трансакција буде завршена изградом системске царинске декларације, што до сада није био случај. Транспарентно коришћење платформе у коју је интегрисан систем track and trace дозвољава корисницима праћење кретања поруцине на мрежи.

5. ИНТЕРНЕТ ПОШТАНСКИХ СТВАРИ

Internet of Things (IoT) представља концепт умрежавања објеката који се налазе на различитим локацијама у глобалну мрежу утемељену на интернет протоколу у циљу прилагођавања захтевима корисника и новим контекстима искоришћавања. Велики број података потребно је на различите начине сачувати, обрадити и интерпретирати. У ту сврху као неизоставни сегменти IoT се наводе везе постојећих мрежа, као и потребе за формирањем нових.

Internet of Postal Things (IoPT), уз помоћ јефтиних сензора убачених у поштанску инфраструктуру омогућава сакупљање и ширење података у циљу правове-

ног реаговања, могао би да помогне поштанским операторима да убрзају рад, унапреде односе са корисницима и развију нове услуге и моделе пословања. [7]

Амерички оператор USPS је кренуо са развојем концепта „Neighborhood Logistic Services“. Погодан тренутак за нови пословни потез овај поштански оператор је видео у паду цена сензора, бежичног повезивања и складиштења података. Интеграција ИТ и нове технологије базиране на сензорима може да донесе револуцију у области – развој нових производа и услуга, боља оперативна дијагностика и директан увид у понашање потрошача [8]

Грубо, главне IoPT апликације могу груписати у четири кључне области:

- Транспорт и логистика: посматрање статуса и перформанси возила у оквиру ланца вредности. Ова апликације биле би усмерене ка, на пример, смањењу потрошње горива, ограничавању потребе за интервенцијама као што су одржавање возила и оптимизацији начина рада и сл.
- Паметне поштанске зграде: системи би боље контролисали потрошњу енергије, сигурност и безбедност зграде и смањили би се трошкови одржавања.
- Побољшање квалитета услуга преноса писмоносних и робних пошиљка: апликације би унапредиле основну делатност поштанских оператора. Сензори генеришу нове податке који повећавају вредност услуге за пошиљкаоца и примаоца и омогућују стварање неких нових услуга.
- Делење послова: коришћењем технологије IoPT омогућује се контролисање присуства поштанских возила и курира у истим областима у току дана. „Повезана“ возила и курири са ручним уређајима могу постати платформе које би помагале у прикупљању података и снабдевању локалних заједница поштанским и другим услугама и производима.

Примена и управљање IoPT системом захтева од поштанских оператора изградњу платформе која је способна да повеже физичку инфраструктуру са дигиталним подацима, стварајући јединствену интегралну мрежу. Та платформа била би безбедна, прилагодљива и интероперабилна са наслеђеном инфраструктуром ЛПО као и са инфраструктуром приватних поштанских оператора.

6. НОВИ ЗАХТЕВИ КОРИСНИКА

Корисници поштанских услуга потражују све више података везаних за њихове пошиљке - где се пошиљка тренутно налази, очекивани датум приспећа, више опција везаних за локацију на којој ће пошиљка бити уручена, поједностављени процес враћања пошиљке. Динамичко рутирање у стварном времену има потенцијал да постане још важније с обзиром да корисници све више купују онлајн. Пошиљкаоци очекују информације о стварном времену уручења као и о томе да

ли прималац жели да настави да прима сличне пошиљке. USPS и многи поштански оператори широм света већ реагују на ове трендове, дозвољавајући корисницима услуга преноса пакета да бирају временски оквир или да мењају датуме доставе. Коришћење сензора у возилима, поштанским сандучићима, уређајима који носе курири, или на самој пошиљци олакшало би спровођење ових услуга тиме што би обезбедило бољу контролу процеса и локације и доступности возила.

Поштански оператори се позиционирају да на оптималан начин уруче пошиљке – када и где то корисници желе, у разумном року и по прихватљивој цени. Уколико не успе прва достава, трошкови оператора расту, а корисник у ограниченом року мора да преузме пошиљку. Сада оператор има софтвер који одређује врсту адресе – да ли је реч о боравишној или пословној адреси, да ли ће пошиљка бити испоручена до портира, кроз отвор на вратима или кроз поштанско сандуче. Дакле, уколико су познате димензије сандучића, као и пошиљке, нема потребе за неуспешном доставом, већ се може наћи алтернативна адреса – посао корисника или услужни ормарић најближи кориснику одакле може да га преузме у време које му одговара. Корисници преко апликације MyUSPS.com имају директну комуникацију с оператором и могу да искажу своје преференце као што је усмеравање поштара да остави пошиљку на задњем трему или код комшије... Дакле, могућности и технологија постоје, остаје да оператор то искористи уз поштовање постојеће регулативе.

Поштанске управе у преко 50 земаља, чланица UPU, задовољавају и тражњу око милијарду људи за финансијским услугама. Пословни модели варирају – од платних центара који омогућују својим корисницима да преузму новчане дознаке до могућности допуне електронских новчаника путем мобилног телефона. У неким државама поште нуде све финансијске сервисе као и банке (Јапан), у Бразилу поштански сектор гради партнерске односе са финансијским институцијама, док у Малавију комерцијалне банке изнајмљују пословни простор од пошта.

Закључак студије Светске банке је да ове услуге могу представљати будућност за поштански сектор у домену финансијских услуга намењених становништву чији су приходи нешто нижи од просечних где је најзначајнија конкурентска предност широка дистрибутивна мрежа темељена на принципима универзалности и персоналне доступности. Такође, поштански сектор се јавља као носилац процеса укључења маргинализованих или дискриминисаних група у друштвене и легалне финансијске токове – жена, младих, незапослених, сиромашних, особа које немају стална примања, особа са ниским примањима, старијих, мање образованих,

миграната, особа са посебним потребама, слепих, а са друге стране и правних лица – малих и средњих предузећа за која није рационално да развијају сопствену логистичку подршку.

4. ЗАКЉУЧАК

Развој распрострањеног и јавног ГИС-а је од стратешке важности за земље у развоју због могућности утицаја ових система на развој друштва.

Употребом ГИС-а поштански сектор своју примарну делатност може да обавља ефикасно, поуздано и прецизно. Корисницима ГИС-а у ери експлозије електронске трговине се отварају нове могућности у затварању ланца снабдевања кроз ефикасну и економичну доставу, испоруку добара и финансијске услуге. Коришћењем ЈоРТ поштански оператори могу значајно утицати на скраћење дугих ланаца продаје од произвођача до потрошача.

Раст електронске трговине на глобалном нивоу повећава значај адресних података неопходних за успешну доставу производа.

Процес управљања адресним подацима поједностављује и оптимизује све технолошке фазе преноса пошиљака, па се организације на иновативан и једноставан начин суочавају са променом структуре поштанских пошиљака – смањењем броја писмоносних пошиљака и порастом броја робних пошиљака.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] www.upu.int (датум приступа 13.2.2016.)
- [2] Achieving high performance in the postal industry, 2014. (<https://www.accenture.com/us-en/insight-achieving-high-performance-postal-industry-2014>.)
- [3] Манић, Е., *Географски информациони системи и просторне анализе у трговини*, Економски факултет у Београду, Београд, 2010.
- [4] Coetzee, S., Cooper, A. K., Piotrowski, P., Lind M, Wells M McCart, Wells, E., Griffiths, N., Nicholson, M. J., Kumar, R., Lubenow, J., Lambert, J., Anderson, C., Yurman, S., Jones, R., *What address standards tell us about addresses*, ISO Focus+, June 2010.
- [5] UPU, *A study on the use Geographic information systems (GIS) for the creation of the addressing systems*, Berne 2014.
- [6] Abas, R., *Looking Beyond Physical Address*, Geocoding Symposium, Washington, 2011.
- [7] USPS, *The Internet of Postal Things*, Report Number RARC-WP-15-013, 2015.
- [8] www.usps.com (датум приступа 15.2.2016.)



УПРАВЉАЊЕ ЦЕНАМА У КУРИРСКОЈ СЛУЖБИ ПРИМЕНОМ РЕЗОНОВАЊА ЗАСНОВАНОГ НА СЛУЧАЈУ

CASE BASED REASONING FOR DISCOUNT RATE DETERMINATION IN COURIER SERVICE

МИЛИЦА ШЕЛМИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, m.selmic@sf.bg.ac.rs

ДРАГАНА МАЦУРА

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, d.macura@sf.bg.ac.rs

ДУШАН ТЕОДОРОВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, dusan@sf.bg.ac.rs

БРАНКА ДИМИТРИЈЕВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs

Резиме: Један од проблема са којима се курирске службе сусрећу је комплексан задатак одређивања цене у међународном транспорту експрес поштом. Наиме, попуст који се одобрава клијентима зависи од много фактора, а његово формирање у актуелном пословању већине компанија засновано је на искуству радника, без софтверске подршке. Са циљем да се побољша ниво услуга у међународном транспорту курирских служби, у овом раду је развијен модел управљања ценом услуга. Предложени модел је базиран на резонувању заснованом на случају, где је коришћена база ранијег пословања са свим карактеристикама клијената: тежина поштом, транзитно време, тарифни бројеви на фактури и лојалност клијената. Излаз из развијеног модела је предложени попуст у односу на основну цену. Модел је тестиран на реалним подацима добијеним из водеће курирске компаније.

Кључне речи: модел за управљање ценама, резонување на бази случаја, експрес поштом.

Abstract: One of the problems that courier companies are facing with is complex task of determining the price of their services, especially in international transport. Service prices depend on many factors, and their forming in most of the companies is based on experience, without software support. We develop a model for obtaining discounts with the aim to improve the quality of services in international transport. The model is based on case based reasoning, with database of solved cases and clients' characteristics: parcel weight, service time, tariff numbers, and the frequency of cooperation with the client. Output of the model is the discount for the service, i.e. certain reduction of the price. The model is tested on real data from leading courier company.

Keywords: model for pricing management, case based reasoning, express delivery

1. УВОД

Одређивање цена услуга у пословању курирских служби је комплексан и захтеван задатак. Цене услуга у унутрашњем и међународном транспорту су формиране тако да обухвате све трошкове процеса преноса, од преузимања поштом до њене доставе. Међутим, временом се показала потреба да се у формирању цена уваже разлике које међу клијентима постоје, односно да се направи модел за одређивање попушта (рабата) на основну цену, такав да на најбољи начин рефлектује те разлике.

У овом раду је понуђен модел за одређивање попушта, а у складу са разликама у карактеристикама клијената који потражују услуге. Карактеристике клијената које утичу на формирање попушта су: тежина поштом,

очекивано време испоруке (транзитно време), број ставки по рачуну (тарифни бројеви на фактури) и лојалност клијента курирској компанији. Радник курирске службе може на бази сопствене процене да одобри попуст од 5, 10 или 15% у односу на основну цену. Развијени модел је заснован на резонувању на бази случаја, за који је коришћена база података са већ опслуженим клијентима. Подаци потребни за примену и тестирање развијеног модела су реални и добијени су из једне од водећих курирских компанија у Србији.

Овај рад је конципиран на следећи начин. После Увода, у другом поглављу је дат опис проблема. У трећем поглављу након краћег описа принципа резонувања на бази случаја, представљен је развијени модел за управљање ценама у курирској служби заснован на тим принципима. Модел је тестиран на реалним подацима.

цима и резултати су приказани у четвртом поглављу. Последње поглавље посвећено је закључним разматрањима и правцима будућег истраживања.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Већ дужи период курирске компаније се суочавају са сложеним проблемом одређивања цена услуга у унутрашњем и међународном транспорту. Како би компанија могла да успостави стандардне рангирајуће нормативе за све клијенте потребно је да се развије општи модел који ће умногоме олакшати решавање овог комплексног задатка. Наиме, у пословању већине компанија постоји уопштени ценовник услуга у домаћем и међународном транспорту који је свима доступан путем званичног сајта компаније. Кориговање цена услуга за клијенте који имају уговор са курирском службом се базира на искуству и субјективној процени запослених у сектору продаје. Цене услуга у унутрашњем саобраћају зависе од многих фактора као што су: број пошиљака које клијент шаље на месечном нивоу, тежине пошиљака, додатне услуге и сл. [1].

Реализација услуга у међународном саобраћају је комплекснија и самим тим и цене услуга доста варирају. Уопштени фактори који одређују цену у међународном саобраћају су: врста робе која се преноси, тежина пошиљака, транзитно време, тарифни бројеви на фактури, свеобухватност услуге (извозно и увозно царинење, транспорт), фреквенција пословања са клијентом, и др.

Сходно развоју информационих технологија, потребно је да се развије и успостави општи модел којим ће се одређивати попуст на основну цену помоћу софтвера, а не на бази појединачне процене запослених. Попуст који би се добијао као излаз из модела би, заправо, представљао умањење цене услуга које су изражене у званичним ценовницима.

3. РЕЗОНОВАЊЕ НА БАЗИ СЛУЧАЈА

Резоновање на бази случаја је процес решавања проблема на основу прошлости, односно на основу већ реализованих сличних проблема из прошлости. Велики број објављених научних радова и књига из ове области потврђује значај и широку примењивост ове технике [2].

Када експерти решавају нови проблем у пракси, они то углавном чине на основу свог претходног искуства, тј. на основу претходно решених сличних случајева. Резоновање на бази случаја (eng. *Case-Based Reasoning* - CBR) је засновано на претпоставци да слични проблеми имају слична решења[3].

Када се појави проблем који је потребно решити, потребно је из емпиријског искуства пронаћи сличан проблем који је у прошлости успешно решен. Постоје различити начини за мерење сличности између проблема у прошлости и актуелног проблема. У циљу генерисања решења за новонастали проблем, експерти бирају исто решење за нови проблем као оно којеје

било примењено за решавање сличног проблема у прошлости. Наравно, старо решење је потребно прилагодити новом проблему, јер углавном постоје извесне, незнатне, разлике између старих и нових проблема. Када се нови проблем реши са прилагођеним старим решењем, и ово ново решење улази у базу података. Цео процес је познат у литератури и као R4 (eng. *retrieve, reuse, revise, retain*)[4].

3. ОДРЕЂИВАЊЕ ПОПУСТА ПРИМЕНОМ РЕЗОНОВАЊА ЗАСНОВАНОГ НА СЛУЧАЈУ

Сваки клијент који је у прошлости сарађивао са курирском компанијом окарактерисан је следећим атрибутима: тежина пошиљке, очекивано време испоруке (транзитно време), број ставки по рачуну (тарифни бројеви на фактури), и лојалност клијента. Тежина пошиљке (W) је изражена у килограмима и може се кретати у вредности од 1kg до 500kg. Тежина пошиљке, је директно пропорционална цени услуге. Што је пошиљка тежа, то се клијенту обрачунава већи попуст у односу на основну цену. Транзитно време, односно време за које клијент захтева да се испоручи пошиљка (T) може бити од 1 до 7 дана. Са становишта пружаоца услуге на формирање цене утиче чињеница да ли клијент захтева брзу испоруку, или је могуће извршити је у неком мало "релаксацијем" року. Број ставки по фактури (N) је број између 1 и 30. Цена услуге извозног и увозног царинења варира од броја различитих ставки на фактури, на основу којих се одређују тарифни бројеви. Већи број тарифних бројева на фактури повећава и цену услуге. Лојалност клијента (L) је бинарна величина, и може бити "0" или "1", за нелојалног и лојалног клијента, респективно. Ова карактеристика је уврштена са идејом да се награде нижом ценом клијенти који чешће послују са компанијом. На овај начин, стални, лојални клијенти могу да рачунају на остварење попушта који ће зависити од фреквенције пословања. Коначно, излазна величина јепопуст који може бити: 5%, 10% или 15%.

Модел развијен у овом раду је заснован на претпоставци да слични клијенти треба да добију сличан попуст. Потребно је пронаћи претходно услуженог клијента који је најсличнији новом клијенту. Нови клијент се обележава C_i , док је са C_j обележен стари клијент који се налази у бази опслужених корисника услуга. Са S_{ij} обележена сличност између i -тог и j -тог клијента. Степен сличности дефинишемо на следећи начин:

$$s_{ij} = w_W * sCW_{ij} + w_T * sCT_{ij} + w_N * sCN_{ij} + w_L * sCL_{ij} \quad (1)$$

$$w_W + w_T + w_N + w_L = 1 \quad (2)$$

$$0 \leq w_W \leq 1 \quad 0 \leq w_T \leq 1 \quad 0 \leq w_N \leq 1 \quad 0 \leq w_L \leq 1 \quad (3)$$

Гдеје:

w_W - тежина (значај) прве улазне величине - тежине пошиљке, а sCW_{ij} - сличност тежине пошиљке i -тог и j -тог клијента

w_T - тежина (значај) друге улазне величине -

транзитно време, а sCT_{ij} - сличност i -тог и j -тог клијента према захтеваном транзитном времену

w_N - тежина (значај) треће улазне величине - тарифни бројеви на фактури, а sCI_{ij} - сличност i -тог и j -тог клијента у односу на ову улазну величину

w_L - тежина (значај) четврте улазне величине - лојалност клијента, а sCL_{ij} - сличност i -тог и j -тог клијента у односу на њихову лојалност.

Сличност између клијената на основу тежине пошиљке

Као што је већ споменуто, пошиљка може бити тешка од 1kg до 500kg. Сличност sCW_{ij} између клијента C_i и клијента C_j према тежини пошиљке може бити у распону $0 \leq sCW_{ij} \leq 100\%$. На основу знања и искуства, експерт субјективно дефинише вредности у Табели 1. Може се видети из Табеле 1 да експерт процењује сличност поредећи дискретне интервале од по 50 kg.

Табела1

Сличност клијената на основу тежине пошиљке

		Тежина пошиљке клијента C_j									
		0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500
Тежина пошиљке клијената C_i	0-50	100	80	60	30	10	10	5	5	5	5
	51-100	80	100	80	60	30	20	10	5	5	5
	101-150	60	80	100	80	60	30	15	5	5	5
	151-200	30	60	80	100	80	40	20	10	5	5
	201-250	10	30	60	80	100	80	60	50	40	30
	251-300	5	20	30	40	80	100	90	80	80	80
	301-350	5	10	15	20	60	90	100	95	90	85
	351-400	5	5	5	10	50	80	95	100	100	95
	401-450	5	5	5	5	40	80	90	100	100	100
	451-500	5	5	5	5	30	80	85	95	100	100

Сличност клијената на основу транзитног времена

Сличност sCT_{ij} између клијента C_i и клијента C_j на основу транзитног времена (тражено време испоруке) може бити у распону $0 \leq sCT_{ij} \leq 100\%$. На основу знања и претходног искуства, експерт субјективно дефинише вредности у Табели 2.

Табела2

Сличност клијената на основу транзитног времена

		Транзитно време клијента C_j						
		1	2	3	4	5	6	7
Транзитно време клијента C_i	1	100	90	60	40	30	20	10
	2	90	100	90	80	30	20	10
	3	60	90	100	90	60	30	15
	4	40	80	90	100	70	40	20
	5	30	30	60	70	100	80	60
	6	20	20	30	40	80	100	90
	7	10	10	15	20	60	90	100

Сличност клијената на основу броја тарифних бројева на фактури

Сличност sCI_{ij} између клијента C_i и клијента C_j на основу тарифних бројева на фактури може бити у интервалу $0 \leq sCI_{ij} \leq 100\%$. Ова сличност је дефинисана на следећи начин:

$$sCI_{ij} = \left(1 - \frac{|I_i - I_j|}{I_{\max}}\right) * 100[\%] \quad (4)$$

Где је:

I_i -број ставки за клијента C_i ;

I_j - број ставки за клијента C_j ; и

I_{\max} - максимални број ставки на фактури у бази решених случајева. У нашем примеру, то је 30 ставки на фактури.

Сличност клијената на основу лојалности

Сличност sCL_{ij} између клијената C_i и C_j на основу њихове лојалности може бити бинарни број, "0" ако није лојалан и "1" ако је клијент лојалан компанији.

Сличност дефинишемо на следећи начин:

$$sCL_{ij} = (1 - |L_i - L_j|) * 100[\%] \quad (5)$$

где су L_i и L_j лојалност клијената i и j , респективно.

Попуст одобрен новом клијенту

Развијени модел треба да предложи попуст за новог клијента, а који треба да буде у складу са претходно одобреним попустима за већ опслужене клијенте, на следећи начин:

$$RM_i = R_k \text{ for } s_{ik} = \max_j \{s_{ij}\} \quad (6)$$

Где је:

RM_i - предложени попуст за новог клијента C_i , а

R_k -попуст који је одобрен клијенту C_k који је најсличнији новом клијенту C_i .

Нека је n број опслужених клијената у бази података, а m укупан број клијената у скупу података за тестирање. У фази тестирања модела, предложени попуст RM_i , за новог клијента C_i , може да се разликује од већ одобреног попуста R_i . Идеално решење је када су ове две вредности идентичне. Функција циља F минимизира суму разлика између предложеног попуста, који је добијен као излаз из модела, и стварног попуста:

$$F = \sum_{i=1}^m pe_i |RM_i - R_i| \quad (7)$$

где је pe_i пенал за разлику $|RM_i - R_i|$ између попуста који модел предлаже, и стварног попуста R_i за клијента C_i .

На основу знања и искуства, експерт субјективно дефинише вредност пенала (Табела 3). Са аспекта менаџмента компаније, прихватљивије је да модел предложи мањи попуст од онога који би био предложен у пракси, него обрнуто.

Табела 3
Вредности пенала

Попуст који предлаже модел [%]					
Попуст који предлаже експерт [%]		0	5	10	15
	0	0	0.5	0.7	1
	5	0.3	0	0.4	0.6
	10	0.4	0.3	0	0.3
	15	0.6	0.4	0.3	0

4. НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР

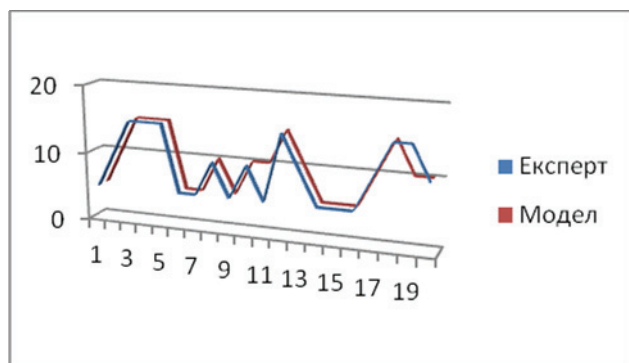
Предложени модел је тестиран на реалним подацима добијеним из једне од водећих курирских компанија у Србији. Ови подаци се односе на 80 опслужених клијената, чије су карактеристике дате у Табели 4.

Табела 4
Карактеристике клијената

Клијент	Тежина (kg)	Транзитно време (дан)	Тарифни бројеви	Лојалност	Попуст (%)
1	10	7	6	1	15
..					
80	50	7	5	0	5

У првом кораку, подаци су подељени у две групе. Прву групу чине подаци за 60 клијената на основу којих се одређује попуст (база случајева) за другу групу од 20 клијената коришћених за валидацију модела.

За фиксне вредности тежина (у овом раду смо сматрали да све карактеристике једнако доприносе формирању попушта), сваки од 20 клијената из друге групе је упоређен са 60 клијената из базе случајева. Попуст који се додељује новом клијенту из друге групе је исти као попуст одобрен клијенту из базе случајева који му је најсличнији по карактеристикама.



Слика 1. Поређење резултата

Са слике 1 се може видети поређење вредности одобреног попушта за 20 нових клијената добијених моде-

лом са онима које је одредио експерт са вишегодишњим искуством у међународном транспорту. Предложени модел је у 18 од 20 случајева погодио одлуку експерта, што износи 90%.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду представљен је модел за дефинисање попушта односно на основну цену у пословању курирске службе. Дефинисана су четири релевантна атрибута сваког клијента, на основу којих се дефинише износ попушта.

Примењено је резоновање на бази случаја. Дакле, на основу скупа података из прошлости, односно решених случајева, дефинише се препорука за доносиоца одлуке за новог клијента у пракси. Мери се сличност новог клијента са клијентима из постојеће базе случајева, како би се сличним клијентима додељивао сличан попуст.

Будућа истраживања ће бити усмерена на примене техника рачунарске интелигенције у одређивању вредности тежина сваке карактеристике клијената. Наиме, у пракси све ове карактеристике не морају са истим значајем да утичу на одлуку о висини попушта. У том смислу потребно је одредити оптималне вредности тежина, а да се минимизира одступање, односно разлика између предложеног попушта, који је добијен као излаз из модела, и стварног попушта који је одобрио експерт.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Šelmić, M., Macura, D., Gržan, D., Dimitrijević, B. "Upravljanje cenama u kurirskoj službi primenom fazi logike", XXXIII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel, Beograd, 2015.
- [2] Teodorović, D., Šelmić, M., Mijatović-Teodorović, Lj., "Combining case-based reasoning with Bee Colony Optimization for dose planning in well differentiated thyroid cancer treatment", *Expert Systems with Applications*, (40) (2013) 2147-2155.
- [3] Aamondt, A. & Plaza, E. (1994). Case Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 17 (1), 39-59.
- [4] Juarez, J.M., Guil, F., Palma J. & Marin, R. (2009). Case-based reasoning, *Fuzzy sets and systems* 160 214-230.



УТИЦАЈ МЕРА УПРАВЉАЊА САОБРАЋАЈЕМ НА АЕРОДРОМУ НА ТРОШКОВНУ ЕФИКАСНОСТ ЛЕТОВА

INFLUENCE OF AIRPORT OPERATIONS MANAGEMENT ON FLIGHTS COST EFFICIENCY

ТАТЈАНА КРСТИЋ СИМИЋ

Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд, t.krstic@sf.bg.ac.rs
ОБРАД БАБИЋ

Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд, o.babic@sf.bg.ac.rs

Резиме: Предмет истраживања у овом раду представља утицај начина управљања саобраћајем на маневарским површинама аеродрома, као и ваздушном простору у непосредној околини аеродрома, од стране контроле летења, на трошковну ефикасност летова. Разматрани су следећи трошкови: потрошеног горива, буке, емисије гасова и трошкови кашњења посаде и путника. Извршени су експерименти за аеродром претпостављене конфигурације и саобраћајне потражње, за различите тактике управљања од стране контроле летења, коришћењем симулационог модела SIMMOD. Добијени резултати су анализирани и изведени су одређени закључци. Показано је да различите тактике управљања саобраћајем од стране контроле летења генеришу различиту временску и трошковну ефикасност летова.

Кључне речи: управљање ваздушним саобраћајем, аеродроми, ефикасност.

Abstract: The research presented in this paper deals with influence of different traffic management on airport maneuvering areas and in airport vicinity, by air traffic control, on flights cost efficiency. The following costs are considered: consumed fuel, noise, emission and crew and passenger delay costs. For the given airport configuration and traffic demand, for different management tactics applied by air traffic control, some experiments were performed, using a simulation model SIMMOD. The results are analyzed and some conclusions are made. It was shown that different ATC tactics could imply different time and cost efficiency of the flights.

Keywords: Air traffic management, Airports, Efficiency.

1. УВОД

У неколико последњих деценија, обим ваздушног саобраћаја је значајно порастао, и очекује се да се такав тренд настави. За Европу се у 2030. години очекује обим саобраћаја од 20,4 милиона операција, што је 2 пута више од обима у 2007. години [1].

Тако велики пораст саобраћаја свакако има позитивне, али и негативне ефекте на друштво и животну средину. Негативни ефекти обухватају буку у околини аеродрома, загађење ваздуха, загушења и кашњења итд, а самим тим и веће трошкове лета.

Аеродроми представљају једно од уских грла у систему ваздушног саобраћаја. До 2035. године, кашњења на аеродрому ће порастати са 1 мин/лету (у 2012. год) на 5-6 мин/лету, и самим тим постати значајни доприносиоци кашњењу [2]. Како би се то избегло, аеродроми се морају проширити, или (с обзиром да то није могуће у великом броју случајева) користити постојеће ресурсе што ефикасније.

Предмет истраживања у овом раду представља утицај начина управљања саобраћајем на маневарским површинама аеродрома, као и ваздушном простору у непосредној околини аеродрома, од стране контроле летења (АТЦ - *Air Traffic Control*), на временску и трошковну ефикасност летова. Наиме, за дату (тренутну или планирану) саобраћајну потражњу, различите мере управљања саобраћајем могу резултирати различитом ефикасношћу обављања саобраћаја на аеродрому. У овом раду, под ефикасношћу обављања саобраћаја подразумева се да се управљање саобраћајем врши на такав начин, да негативни ефекти обављања летова буду што мањи, тј. да се летови реализују под условима који су блиски оптималним, тј. као када би били сами у систему [3].

Циљ истраживања био је одређивање међусобне зависности између тактике управљања саобраћајем од стране контроле летења, временске и трошковне неефикасности обављања саобраћаја на аеродрому.

2. МЕРЕ НЕЕФИКАСНОСТИ ЛЕТА

Управљање ваздушним саобраћајем може имати значајну улогу у смањењу додатних („непотребних“) трошкова лета. У сврху бољег разумевања овог утицаја један од могућих приступа је квантификовање датог утицаја користећи релевантне мере неефикасности лета [3]. При томе је неефикасност лета дефинисана као било какво одступање од оптималне 4Д путање лета, у било којој фази лета. У раду је уведена мера неефикасности (*Inefficiency Metric - IM*), која пружа информацију о разлици између стварних (Ств.в.) и оптималних вредности (Опт.в.) анализираних параметара [4]:

$$IM (\%) = ((\text{Ств.в.} - \text{Опт.в.}) / \text{Опт.в.}) \times 100 \quad (1)$$

За оцену утицаја начина управљања од стране контроле летења на ефикасност функционисања аеродрома одабрани су: време које ваздухоплови додатно проведу у систему услед кашњења – Временска неефикасност (*Time Inefficiency - TI*) и додатни трошкови горива, кашњења путника и посаде, трошкови додатне количина емитованих гасова и додатно генерисане буке – Трошковна неефикасност (*Cost Inefficiency - CI*).

Трошкови горива

Цена горива се из године у годину мења. У раду је коришћена вредност од 0,75 Еуро/кг (као просечна цена горива за 2014. годину, [5]).

Трошкови кашњења посаде и путника

У раду [6] су дате процењене вредности трошкова посаде и путника за кратка и дуго кашњења, за четири категорије ваздухоплова. За кратка кашњења се сматрају кашњења до 15 минута и претпоставља се да ова кашњења не генеришу додатне трошкове посаде и путника - Табела 1. Вредности дате у табели за дуго кашњење подразумевају кашњење од 65 минута. Вредност трошкова кашњења за кашњења између 15 и 65 минута могу се одредити интерполацијом (уз претпоставку да трошкови кашњења са повећањем кашњења расту линеарно).

Табела 1: Трошкови кашњења посаде и путника (Еуро/минут)

	Трошкови посаде		Трошкови путника	
	Кратко кашњ.	Дуго кашњ.	Кратко кашњ.	Дуго кашњ.
<i>Small</i>	0	448,5	0	908,7
<i>Large</i>	0	624,0	0	2608,3
<i>B757</i>	0	696,5	0	4315,7
<i>Heavy</i>	0	1502,3	0	6416,3

У раду су коришћени подаци за *large* и *heavy* ваздухоплове.

Трошкови емисије гасова

У раду [6] су такође дати трошкови емисије одређених гасова, за три сценарија: *low*, *base* и *high* –Табела 2. Пошто у овом раду нису одређиване апсолутне, већ

релативне вредности трошкова (трошковна неефикасност), одређивањем неефикасности за сва три предложена сценарија трошкова добиле би се веома сличне вредности, тако да су одабрани и коришћени само трошкови претпостављени као *base* сценарио.

Табела 2: Трошкови емисије ваздухоплова (Еуро/кг)

	<i>Low</i>	<i>Base</i>	<i>High</i>
CO	0,12037	0,154762	0,223545
CO2	0,012037	0,04127	0,072222
HC	2,92328	6,190476	9,457672
NOx	4,986772	7,050265	11,86508
SO2	2,407407	6,706349	12,38095

Трошкови буке

Приликом процене трошкова буке, аутори рада [6] пошли су од процене да просечан трошак буке износи 0,0043\$ по пређеном путничком километру [7]. Дате су вредности буке за три сценарија - Табела 3[6].

Табела 3: Трошкови буке (Еуро/минут)

	Класа ваздухоплова по маси (број путника)			
	<i>Small</i> (70)	<i>Large</i> (160)	<i>B757</i> (230)	<i>Heavy</i> (270)
<i>Low</i>	1,482	3,432	4,992	5,850
<i>Base</i>	2,184	4,914	7,098	8,346
<i>High</i>	2,808	6,396	9,204	10,764

У раду су коришћени подаци за *large* и *heavy* ваздухоплове, за *base* сценарио.

Трошковна неефикасност

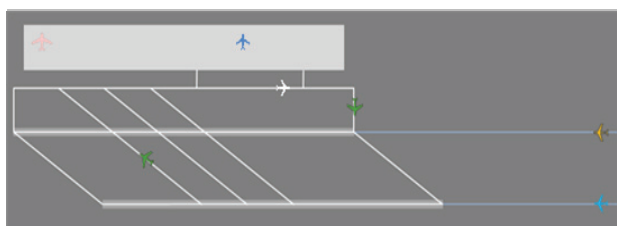
Трошковна неефикасност лета је одређена на основу формуле (1). Приликом одређивања „стварних“ вредности трошкова за одређени лет узимају се у обзир све посматране фазе лета, док се приликом одређивања оптималних вредности трошкова не узимају у обзир фазе чекања. Једино се трошак кашњења посаде и путника разматра само приликом кашњења тј. само за фазе чекања.

3. ЕКСПЕРИМЕНТ

Применом симулационог модела SIMMOD (Верзија 8.1), моделиран је аеродром са две полетно-слетне стазе (ПСС) и паралелном рулном стазом (РС) (Слика 1). Систем анализиран у овом истраживању обухвата маневарске површине аеродрома (ПСС и РС), као и ваздушни простор у непосредној околини аеродрома. Ваздухоплови у слетању се у систему појављују у тачки завршног прилажења, док се ваздухоплови у полетању у систему појављују у моменту када траже дозволу да крену на полетање [3].

Ваздухоплови се појављују у систему на случајан начин, при чему међувреме наиласка између два ваздухоплова (и за слетања и за полетања) има равномерну расподелу од 0 до 2,5 минута - R(0с, 150с). Овај интензитет саобраћаја треба да илуструје обим саобраћаја који ће довести до загушења система. Тип операција и тип ваздухоплова су додељивани на случајан

начин (однос слетања/полетања: 50/50% и однос *heavy/large* ваздухоплови: 25/75%) [3].



Слика 1: Аеродром са две ПСС и рулном стазом паралелном са ПСС

Анализирана су два сценарија: сценарио у којем се примењује одвојени (*segregated*) оперативни мод – симултано обављање операција на паралелним ПСС, при чему се једна стаза користи искључиво за прилаз и слетање, а друга искључиво за полетања (у даљем тексту Сценарио 1) и сценарио у којем се примењује мешовити (*mixed*) оперативни мод – симултано обављање операција на паралелним ПСС, при чему се једна стаза користи за оба типа операција (слетања и полетања), а друга стаза искључиво за слетања. При томе, уведена је претпоставка да се спољашња ПСС користи за слетања из групе *large* ваздухоплова док *heavy* ваздухоплови слећу на унутрашњу ПСС (у даљем тексту Сценарио 2) [3].

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У Табели 4 приказане су вредности просечног броја опслужених ваздухоплова, просечног укупног кашњења и кашњења по ваздухоплову, добијене за две различите тактике управљања саобраћајем. Приказане су вредности за све посматране ваздухоплове који су ушли у систем у току једног сата, као и вредности за ваздухоплове који су опслужени у посматраном једночасовном интервалу. На основу вредности приказа-

них у Табели 1 може се видети да обе тактике дају сличне вредности просечног кашњења и протока система (просечно кашњење по опслуженом ваздухоплову је ~5 мин за ~60 опслужених ваздухоплова). Уколико се узму у обзир сви посматрани ваздухоплови (сви који су ушли у систем у 1. сату), кашњење по ваздухоплову веће је за Сценарио 2 где су кашњења 6,74 мин (у Сценарију 1 - 6,11 мин) [3].

На слици 2 дат је упоредни приказ вредности временске и трошковне неефикасности, добијених за Сценарије 1 и 2. Са слике се може уочити следеће: за Сценарио 2, посматрано за све ваздухоплове (на слици означено са сви) добијене су више вредности и за TI и за укупну CI ; временска неефикасност TI ваздухоплова у полетању значајно је већа од TI ваздухоплова у слетању за оба сценарија; за CI полетања и слетања не постоји једнозначна зависност: за Сценарио 1, CI слетања је већа од CI полетања, док је у Сценарију 2 обрнуто.

На сликама 3 до 5 приказане су вредности CI посебно за трошкове потрошеног горива и кашњења посаде и путника, као трошкове авио-компаније - $CI_{F\&L}$, и вредности CI за трошкове генерисане буке - CI_N и емитованих гасова - CI_E , као еколошке трошкове. Узимајући у обзир тренутну регулативу, еколошки трошкови су углавном друштвени трошкови [6],[7]. TI и „деталнији приказ“ CI за све ваздухоплове дати су на Слици 3, за полетања на Слици 4 и за слетања на Слици 5.

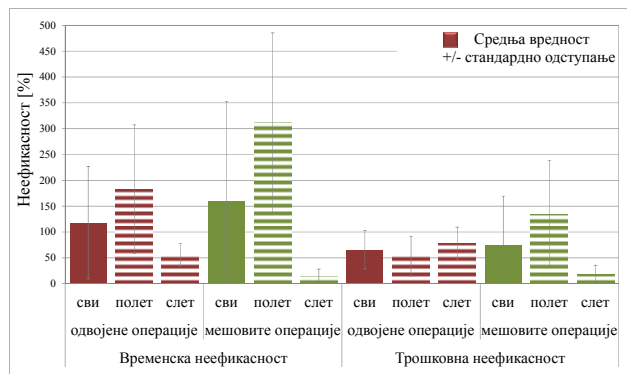
На основу слика 3 до 5 може се видети да CI у већини случајева зависи од TI (смањење TI доводи до смањења CI и обрнуто), осим у случају укупне CI_E (за полетања и слетања - Слика 3), која је мања за Сценарио 2 (док је TI већа).

Табела 4: Кашњења ваздухоплова – Сценарио 1 vs. Сценарио 2

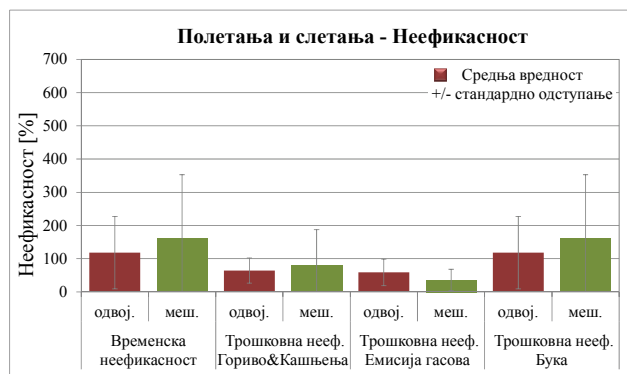
АТС тактика	Тип операције	Просечан број опслужених ваз. у 1. сату	Просечно укупно кашњење ваз. опслужених у 1. сату	Просечно кашњење по ваз. опслуженом у 1. сату	Просечан број ваз. који су ушли у систем у 1. сату	Просечно укупно кашњење ваз. који су ушли у систем у 1. сату	Просечно кашњење по ваз. који је ушао у систем у 1. сату
Сцен. 1 одвојене операције	укупно	60,00	308 мин	5,13 мин	81,50	498 мин	6,11 мин
	слетања	29,33	129 мин	4,40 мин	41,50	204 мин	4,92 мин
	полетања	30,67	179 мин	5,84 мин	40,00	294 мин	7,35 мин
Сцен. 2 мешовите операције	укупно	59,17	292 мин	4,94 мин	81,50	549 мин	6,74 мин
	слетања	31,83	37 мин	1,16 мин	41,50	47 мин	1,13 мин
	полетања	27,33	256 мин	9,37 мин	40,00	502 мин	12,55 мин

У случају полетања (Слика 4), може се уочити директна зависност PI и CI . За CI_E , разлика између сценарија је мања (у односу на разлику осталих показатеља неефикасности), услед мање стопе емисије гасова ваздухоплова који чекају (касне) на земљи, у односу на ваздухоплове у слетању.

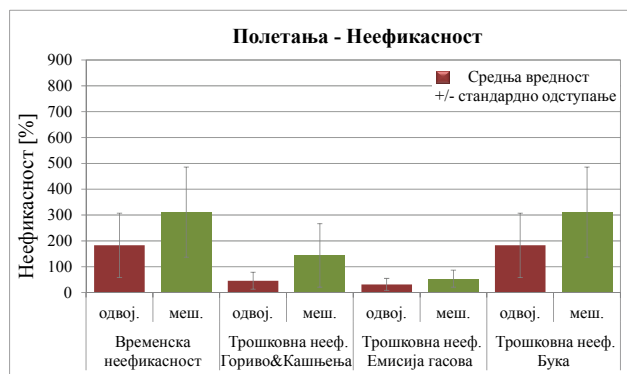
Уколико посматрамо само слетања (Слика 5), у случају мешовитих операција тј. за Сценарио 2, систем је ефикаснији по свим посматраним параметрима (PI и CI).



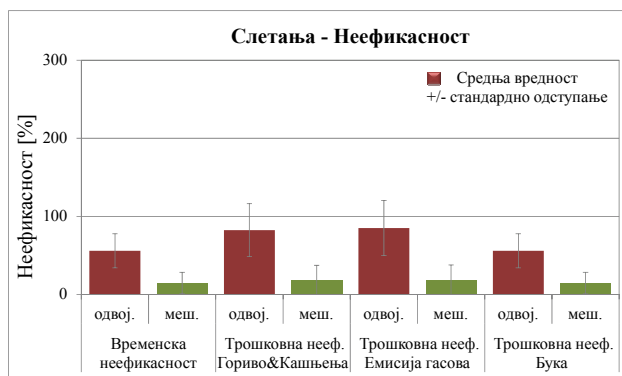
Слика 2: Вредности неефикасности – Сцен.1 vs. Сцен.2



Слика 3: Вредности неефикасности са детаљнијим приказом CI - Сцен.1 vs. Сцен.2



Слика 4: Вредности неефикасности за полетања са детаљнијим приказом CI - Сцен.1 vs. Сцен.2



Слика 5: Вредности неефикасности за слетања са детаљнијим приказом CI - Сцен.1 vs. Сцен.2

5. ЗАКЉУЧАК

На основу приказаних резултата и извршених анализа за Сценарије 1 и 2, може се закључити следеће: примена тактике одвојених операција полетања и слетања генерише мање укупне вредности PI , нешто мање вредности укупне вредности CI , али веће вредности CI емисије гасова, у поређењу са тактиком мешовитих операција полетања и слетања.

Одлука о томе коју АТС тактику применити зависила би од коначних (или важнијих) циљева постављених од стране доносиоца одлуке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Eurocontrol, "Mitigating the challenges for air transport 2030", <http://www.eurocontrol.int/articles/challenges-growth>
- [2] Eurocontrol, "Challenges of growth 2013: Summary report", <http://www.eurocontrol.int/articles/challenges-growth>
- [3] Крстић Симић, Т., Бабић, О., „Истраживање утицаја начина управљања саобраћајем на мере перформанси обављања саобраћаја на аеродромима“, SYM-OP-IS-2015, Сребрно језеро, Србија, 2015.
- [4] Reynolds, T.G., „Development of Flight Inefficiency Metrics for Environmental Performance Assessment of ATM“, ATM2009, Napa, California
- [5] RITA, <http://www.transtats.bts.gov/fuel.asp>
- [6] Sölveling, G., Senay S., Clarke, J.P.B., Johnson, E.L., „Scheduling of Runway Operations for Reduced Environmental Impact“, *Transportation Research Part D: Vol. 16, Issue 2, March 2011, pp. 110-120*
- [7] Levinson, D., Kanafani, A., Gillen, D., „Air, High Speed Rail or Highway: A Cost Comparison in the California Corridor“, *Transportation Quarterly, 53(1) (1999) 123–132.*

СИМУЛАЦИЈЕ



ПРАЋЕЊЕ КАШЊЕЊА GNSS СИГНАЛА ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ ФИТОВАЊА

USE OF FITTING METHOD FOR GNSS SIGNAL DELAY TRACKING

МАРКО С. БОГАТОВИЋ, МИРЈАНА СТОЈАНОВИЋ, МИЛОРАД СТАНОЈЕВИЋ
Универзитету у Београду - Саобраћајни факултет, Београд,
m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, m.stojanovic@sf.bg.ac.rs, milorad@sf.bg.ac.rs

Резиме: У раду је приказан нови алгоритам за оцену параметара (кашњење сигнала проширеног спектра и фазе носиоца) GNSS сигнала. Претпоставка је да је окружење такво да доводи до појаве простирања сигнала по више путања. Нови алгоритам је заснован на методи фитовања врхова криве корелације сигнала на пријему. Коришћењем принципа максималне веродостојности вредност параметара се налази применом неке од метода директне претраге. Симулационим резултатима је потврђено да нови алгоритам даје боље резултате у погледу ублажавања простирања по више путања у односу на MEDLL алгоритам.

Кључне речи: сателитска навигација, симулација, простирање по више путања, естимација параметара.

Abstract: In the paper a new algorithm for the parameter estimation (code delay and carrier phase) of a GNSS signal is presented. It is assumed that the receiver is operating in a multipath propagating environment. The new algorithm is based on the peak fitting of the received signal correlation curve. Using maximum likelihood principle value of the parameters is found by applying a direct search method. Simulation results show a decrease of multipath errors as compared to the MEDLL algorithm.

Keywords: satellite navigation, simulation, multipath, parameter estimation.

1. УВОД

GNSS (Global Navigation Satellite System) пријемник, након филтрирања и одабирања примљеног сигнала, врши његову обраду кроз две секвенцијалне фазе: синхронизацију и одређивање положаја. У фази синхронизације се прате параметри сигнала тренутно видљивих сателита (временско кашњење сигнала проширеног спектра и фаза носиоца). Ови параметри се користе за добијање информације о растојању између пријемника и сателита. Обезбеђивањем растојања до најмање четири сателита могуће је одредити положај пријемника [1].

Синхронизација се врши за сигнал са сваког видљивог сателита коришћењем идентичних канала. Канал се састоји од корелатора, дискриминатора, петље кашњења и фазне петље. Корелатор врши интеграцију сигнала на пријему код -кога је уклоњен носилац и који је модулисан локалном репликом сигнала проширеног спектра. Вредности из корелатора се даље спроводе у дискриминатор фазе и кашњења. Дискриминатор фазе је уређај који одређује фазу носиоца, док дискриминатор кашњења одређује кашњење сигнала проширеног спектра. Вредности из дискриминатора представљају улазе за петљу кашњења и фазну петљу у којима се израчунава фреквенција псеудослужајног сигнала и носиоца, респективно [1].

Један од најзначајнијих проблема који се јављају приликом развоја GNSS пријемника је робустност алгоритма синхронизације у односу на простирање сигнала по више путања (multipath). Овај ефекат уводи грешку при одређивању параметара синхронизације што се манифестује лошијом оценом положаја пријемника. Простирање сигнала по више путања је готово неизбежно када је у питању сателитска навигација, пошто се сигнал приликом пропагације рефлектује са различитих објеката на путањи [1,2].

У раду је описан нови алгоритам PFME (Peak Fitting Multipath Estimation) који има функцију дискриминатора и који користи методу фитовања врхова корелационе криве да боље оцени кашњење сигнала на пријему и да ублажи утицај простирања сигнала по више путања.

2. МОДЕЛ СИГНАЛА НА ПРИЈЕМУ

Након фитовања и одабирања сигнал на пријему ће гласити [2]:

$$r(k) = \sum_{l=0}^{L-1} a_l(k) \tilde{q}(k - \tau_l(k)) e^{j\phi_l(k)} + \tilde{w}(k), \quad (1)$$

при чему је L број рефлектованих компоненти сигнала (укључујући и директну), $a_l(k)$, $\tau_l(k)$ и $\phi_l(k)$ су амплитуда, кашњење и фаза сваке појединачне компо-

ненте (за директну компоненту $l=0$), респективно, $\tilde{q}(k)$ филтрирани псеудослучајни сигнал, док је $\tilde{w}(k)$ филтрирани адитивни бели шум. Сигнал $\tilde{q}(k)$ пре филтрирања означавамо са $q(k)$ и он гласи [2]:

$$q(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} d_n \sum_{s=0}^{N_{sym}-1} c_{s,n} g(kT_s - nT_{sym} - sT_c), \quad (2)$$

где је d_n вредност бита навигационе поруке, $c_{s,n}$ је s -та вредност псеудослучајне кодне секвенце n -тог бита, T_{sym} је време трајања бита и $g(t)$ је таласни облик модулишућег сигнала. Један бит се састоји од N_{sym} чипова трајања T_c . Период одабирања је T_s . Таласни облик модулишућег сигнала за BPSK и CBOC(m,n,ρ,\pm) модулисана сигнале гласи:

$$g(t) = \sqrt{1-\rho} \sum_{i=0}^1 (-1)^i p_{T_c} \left(t - i \frac{T_c}{2} \right) \pm \sqrt{\rho} \sum_{i=0}^{N_{sw}-1} (-1)^i p_{T_{sw}} \left(t - iT_{sw} \right),$$

при чему је N_{sw} ред модулације (број импулса унутар једног чипа), а $T_{sw} = T_c / N_{sw}$ је време трајања импулса. За BPSK модулацију важи да је $N_{sw} = 1$, $\rho = 1$, а усвојени знак је '+'. Параметар N_{sw} , CBOC(m,n,ρ,\pm) модулације има вредност $2m/n$, односно, $2f_{sc}/f_c$. Са f_c је означена фреквенција псеудослучајног сигнала, док је фреквенција уграђеног носиоца (subcarrier) означена са f_{sc} . Импулс ширине T је означен са $p_T(t)$. У табели 1 су приказане вредности параметара GPS/CA и Galileo E1B сигнала.

Табела 1: Параметри GPS/CA и Galileo E1B сигнала

Параметар сигнала	GPS/CA BPSK	Galileo E1B CBOC(6,1,1/11,+)
f_c	1.023 MHz	1.023 MHz
T_c	≈ 0.9775 ms	≈ 0.9775 ms
T_{sym}	1 ms	4 ms
N_{sym}	1023	4096
N_{sw}	1	12
T_{sw}	≈ 0.9775 ms	≈ 0.08146 ms

Након уклањања носиоца, модулисања локалном репликом и интеграције сигнала излаз из корелатора ће гласити [2]:

$$R(\bar{\tau}) = \sum_{l=0}^{L-1} a_l R_0(\bar{\tau} - \tau_l) e^{j\phi_l} + \eta(\bar{\tau}), \quad (3)$$

где је $R_0(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{q}(t)q(t-\tau)dt$ је функција аутокорељације локалне реплике, док је $\bar{\tau}$ кашњење локалне реплике са којом се сигнал на пријему модулише. Сматраћемо да су за период интеграције параметри a_l , τ_l и ϕ_l константи. Са $\eta(\bar{\tau})$ је означен преостали шум на излазу из корелатора.

3. АЛГОРИТАМ ПРАЋЕЊА ПАРАМЕТАРА

Обзиром да се ради о RAKE пријемнику код кога се закашњене локалне реплике комбинују са примљеним сигналом уклоњеног носиоца, претпоставка је да ће пријемник у једном каналу имати N_{corr} расположивих корелатора. Кашњење локалне реплике у сваком прсту корелатора ћемо означити са $\bar{\tau}_i$.

Овде ћемо детаљно описати нови алгоритам, PFME, који коришћењем фитовања врхова корелационе функције сигнала на пријему уз примену неке од метода директне претраге налази криву са оцењеним параметрима \hat{a}_l , $\hat{\tau}_l$ и $\hat{\phi}_l$. У складу са теоријом максималне веродостојности добијене вредности минимизују следећу функцију циља:

$$F(a_l, \tau_l, \phi_l) = \sum_{i=-\frac{N_{corr}}{2}}^{\frac{N_{corr}}{2}} \left| R(\bar{\tau}_i) - \sum_{l=0}^{L-1} a_l R_0(\bar{\tau}_i - \tau_l) e^{j\phi_l} \right|^2. \quad (4)$$

У алгоритму 1 је приказана функција циља алгоритма PFME.

Алгоритам 1. Функција циља

Улаз: $R(\bar{\tau}_i)$, L , τ_l

Израз: F , a_l и ϕ_l

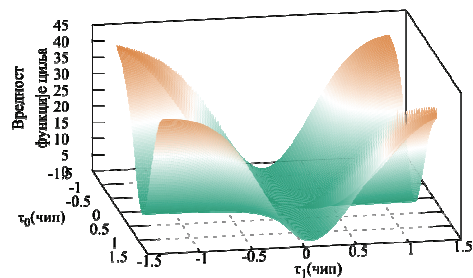
$$1: \mathbf{A} = [\text{Re}\{R_0(\bar{\tau}_i - \tau_l)\}]_{N_{corr} \times L}, \quad \mathbf{B} = [\text{Im}\{R_0(\bar{\tau}_i - \tau_l)\}]_{N_{corr} \times L}$$

$$2: \mathbf{r} = [\text{Re}\{R(\bar{\tau}_i)\}]^T, \quad \mathbf{q} = [\text{Im}\{R(\bar{\tau}_i)\}]^T$$

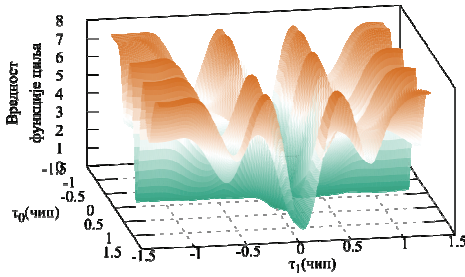
$$3: \mathbf{p} = \mathbf{A}^T \mathbf{r}, \quad \mathbf{s} = \mathbf{B}^T \mathbf{q}, \quad a_l = \sqrt{\mathbf{p}_l^2 + \mathbf{s}_l^2}, \quad \phi_l = \arctg \frac{\mathbf{s}_l}{\mathbf{p}_l}$$

$$4: F = \|\mathbf{r} - \mathbf{A}\mathbf{p}\|^2 + \|\mathbf{q} - \mathbf{B}\mathbf{q}\|^2$$

Са \mathbf{A}^\dagger је означена псеудо-инверзна матрица матрице \mathbf{A} која може да се израчуна на следећи начин $\mathbf{A}^\dagger = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$. На сликама 1 и 2 су приказане вредности функције циља за GPS/CA и Galileo E1B сигнале за $L = 2$, када је рефлектована компонента у фази са директном компонентом. Са слике 1 се види да функција циља има два минимума у зависности од тога да ли је кашњење директне компоненте означено са τ_0 или τ_1 . За разлику од GPS/CA сигнала вредност функције циља Galileo E1B сигнала има више локалних минимума (слика 2). Због тога је неопходно иницијализовати параметре и што је могуће више приближити их решењу.



Слика 1: Вредност функције циља PFME алгоритма за GPS/CA сигнал при чему је рефлектована компонента у фази са директном компонентом



Слика 2: Вредност функције циља PFME алгоритма за Galileo E1B сигнал при чему је рефлектована компонента у фази са директним компонентом

Алгоритам 2 описује нови алгоритам оцене параметра сигнала (PFME) применом фитовања врхова.

Алгоритам 2. Алгоритам PFME

Улаз: $R(\bar{\tau}_i)$, L

Изаз: \hat{a}_i , $\hat{\tau}_i$ и $\hat{\phi}_i$, $i = 0, \dots, L-1$

/* Иницијализација параметара */

1: $R^0(\bar{\tau}_i) = R(\bar{\tau}_i)$

2: $\hat{\tau}_0 = \arg \max_{\bar{\tau}} |R^0(\bar{\tau}_i)|$, $\hat{a}_0 = |R^0(\hat{\tau}_i)|$, $\hat{\phi}_0 = \arg R^0(\hat{\tau}_i)$

3: $l = 0$

4: **repeat until** $l < L$

5: $l = l + 1$

6: $R^l(\bar{\tau}_i) = R^{l-1}(\bar{\tau}_i) - \hat{a}_{l-1} R_0(\bar{\tau}_i - \hat{\tau}_{l-1}) e^{j\hat{\phi}_{l-1}}$, $i = -\frac{N_m}{2}, \dots, \frac{N_m}{2}$

7: $\hat{\tau}_l = \arg \max_{\bar{\tau}} |R^l(\bar{\tau}_i)|$, $\hat{a}_l = |R^l(\hat{\tau}_i)|$, $\hat{\phi}_l = \arg R^l(\hat{\tau}_i)$

8: **end**

/* Оцена параметара фитовањем врхова */

9: Применом неке методе директне претраге над функцијом циља F

са почетним оценама кашњења $\hat{\tau}_i$ и одбирцима корелације $R(\bar{\tau}_i)$

налазимо локални минимум $(\hat{a}_i, \hat{\tau}_i, \hat{\phi}_i)$

10: Сортирамо $(\hat{a}_i, \hat{\tau}_i, \hat{\phi}_i)$ по $\hat{\tau}_i$ у растућем редоследу.

4. СИМУЛАЦИОНИ РЕЗУЛТАТИ

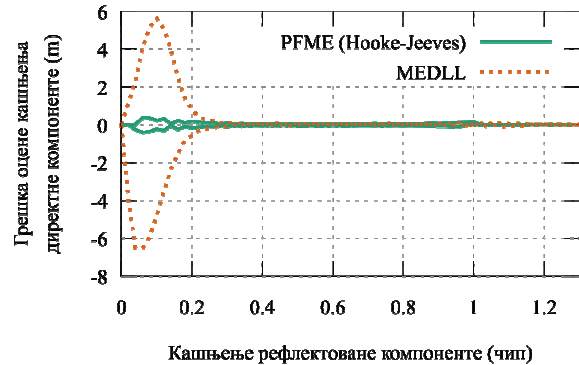
Симулациони програми су реализовани у програмском језику C++ уз интензивно коришћење стандардне библиотеке шаблона. У табели 2 су дате неке вредности параметара симулираних сигнала.

Табела 2: Поставке симулираних сигнала

Параметар	Вредност
Пропусни опсег (BW)	8,184 MHz
Међуфреквенција (f_0)	9,42 MHz
Фреквенција одабирања (f_s)	29 MHz
Број корелатора (N_{corr})	151

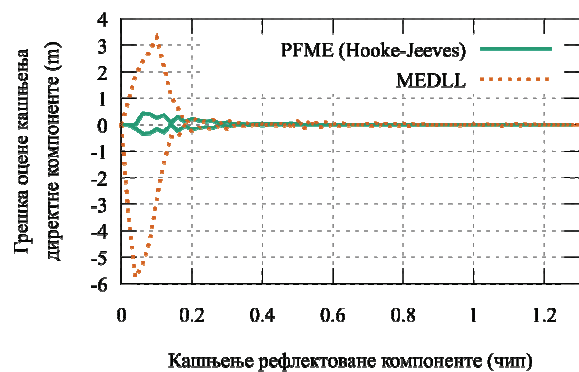
Добијене резултате ћемо поредити са MEDLL (*Multi-path Estimating Delay Lock Loop*) алгоритмом који слови за једног од најбољих алгоритма за ублажавање утицаја простирања по више путања [3]. Ова метода смањује грешку оцене кашњења псеудослучајног сигнала и фазе носиоца истовремено оцењујући параметре директне и рефлектованих компоненти сигнала.

На слици 3 извршено је поређење анvelopа грешака простирања по више путања за GPS/CA сигнал применом PFME и MEDLL алгоритма.



Слика 3: Анvelopа грешке простирања по више путања GPS/CA сигнала применом PFME и MEDLL алгоритма

Анvelopа грешке простирања по више путања се често користи за оцену ефикасности алгоритма при ублажавању простирања по више путања и сматра се да је сигнал без шума и да на оцену кашњења директне компоненте утиче само једна рефлектована компонента ($L=2$) (слике 3 и 4). Амплитуда рефлектоване компоненте је за 6 dB ослабљена у односу на амплитуду директне компоненте. Фаза рефлектоване компоненте је у фази или у квадратурној фази у односу на директну компоненту. На слици 4 приказане су анvelopе грешке простирања по више путања за Galileo E1B сигнал применом PFME и MEDLL алгоритма. И у случају GPS/CA сигнала и Galileo E1B сигнала PFME алгоритам користи Хук-Џивс (Hooke-Jeeves) методу директне претраге. Са дијаграма се јасно види да PFME алгоритам има знатно мању грешку оцене кашњења од MEDLL алгоритма за оба сигнала.



Слика 4: Анvelopа грешке простирања по више путања Galileo E1B сигнала применом PFME и MEDLL алгоритма

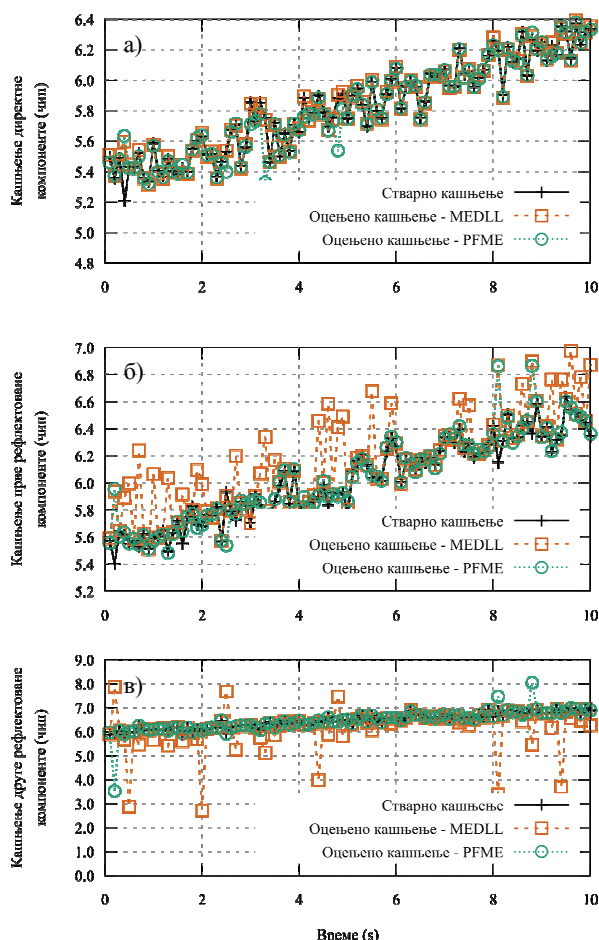
Анvelopа грешке кашњења простирања по више путања има два ограничења: сигнал на пријему није зашумљен и садржи само једну рефлектовану компоненту. Јасно је да ова два ограничења нису применљива у некој реалној ситуацији. Због тога ћемо као меру ефикасности ублажавања простирања по више путања узети корен из средње квадратне грешке (RMSE, *Root Mean Square Error*). У овом случају симулирани сигнал ће садржати две рефлектоване компоненте ($L=3$) и ади-

тивни бели Гаусов шум ($CNR = 45$ dB-Hz). Кашњења директних и рефлектованих компоненти се мењају коришћењем следећег израза:

$$\tau_i(k) = \tau_i(0) + hk + v, \quad i = 0, 1, 2$$

при чему је k редни број периода интеграције, h је константа ($h=10^{-4}$), а v је нормално расподељена случајна променљива, $v \sim N(0, 1)$. Амplitude прве и друге рефлектоване компоненте су ослабљене у односу на директну компоненту за 6 dB и 10 dB, респективно, док су фазе свих компоненти равномерно расподељене на интервалу $[-\pi, \pi]$. Период интеграције и у случају GPS/CA и Galileo E1B сигнала износи 100 ms. Метода директне претраге која ће бити коришћена у PFME алгоритму је претрага компасом (*compass search*).

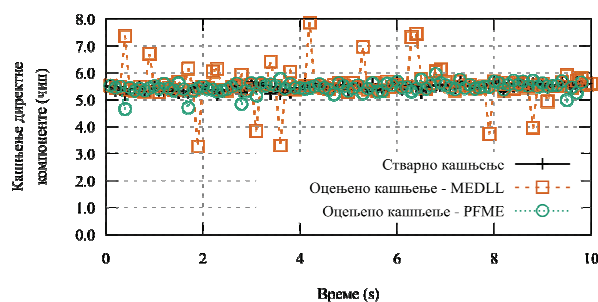
На слици 5 је приказана оцена кашњења директне, прве и друге рефлектоване компоненте GPS/CA сигнала применом MEDLL и PFME алгоритма у односу на стварно кашњење сигнала, док је на слици 6 дата оцена кашњења директне компоненте Galileo E1B сигнала применом PFME и MEDLL алгоритма.



Слика 5: Оцена кашњења директне а), прве б) и друге в) рефлектоване компоненте GPS/CA сигнала применом MEDLL и PFME алгоритма

Са дијаграма се види да PFME алгоритам углавном боље прати кашњење компоненти сигнала него MEDLL алгоритам. Једино у случају директне компоненте GPS/CA сигнала MEDLL алгоритам боље прати кашњење сигнала од

PFME алгоритма. Такав закључак је поткрепљен вредностима корена средње квадратне грешке оцена кашњења компоненти сигнала приказаних у табели 3.



Слика 6: Оцена кашњења директне компоненте Galileo E1B сигнала применом MEDLL и PFME алгоритма

Табела 3: Корен из средње квадратне грешке оцена кашњења компоненти сигнала

Сигнал	Компонента сигнала	Корен из средње квадратне грешке (чип)	
		MEDLL	PFME
GPS/CA	директна	0,041388	0,075245
	I	0,258734	0,114621
	II	0,806417	0,271812
Galileo E1B	директна	0,681906	0,177341

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је приказан нови алгоритам за праћење кашњења компоненти GNSS сигнала заснован на методи фитовања врхова корелационе функције сигнала на пријему уз примену неке од метода директне претраге. Алгоритам је детаљно описан и симулационом анализом је утврђена његова ефикасност у погледу оцена кашњења компоненти навигационог сигнала. Добијена је анвелопа грешке кашњења новог алгоритма и упоређена је са анвелопом грешке кашњења референтног MEDLL алгоритма. Испоставља се да нови алгоритам даје значајно мању грешку у односу на MEDLL алгоритам. Даље, извршена је компаративна анализа оцена кашњења компоненти сигнала за MEDLL и нови алгоритам у ситуацији када сигнал на пријему садржи шум и више од једне рефлектоване компоненте. Утврђено је да је и у овом случају нови алгоритам углавном даје боље резултате у односу на MEDLL алгоритам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Misra P., Enge P., *Global Positioning System Signals, Measurements and Performance*, Second Edition, Ganga-Jamuna Press, 2006.
- [2] Bhuiyan M. Z. H., Lohan E. S., Renfors M., "Code Tracking Algorithms for Mitigating Multipath Effects in Fading Channels for Satellite-Based Positioning", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008 (863629) (2008).
- [3] van Nee R.D.J., "The Multipath Estimating Delay Lock Loop", *IEEE Second International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA '92)*, Yokohama, Japan, 39-42, 1992.

СТАТИСТИЧКИ МОДЕЛИ



AN EXAMPLE OF THE APPLICATION OF COPULA MODELS IN PHYSICS

BILJANA Č. POPOVIĆ

Department of Mathematics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, bipop@pmf.ni.ac.rs

ALEKSANDAR P. JOVANOVIĆ

Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, alexandar.bmf@gmail.com

VIDOSAV LJ. MARKOVIĆ

Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, vidosav@pmf.ni.ac.rs

MILICA M. SKAMAGKOULIS

Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana, milicap78@yahoo.com

Abstract: *This work has resulted from long-standing interest in the problem of theoretical determination of the distribution of breakdown time delay in gases. The paper deals with copulas as the possible solution for this problem at present.*

Keywords: *Copula, breakdown time delay, distribution of sum of random variables.*

1. INTRODUCTION

Roughly speaking, copulas are multivariate distribution functions whose one-dimensional margins are uniform on the interval (0,1). One of the main reasons that the statisticians are interested in copulas is that they can be a starting point for constructing families of multivariate distributions.

Exact definition of copula can be found in [1]. As we shall be interested only in two-dimensional copulas (or briefly, copulas), further on, we shall give the definition of two-dimensional copula only.

As far as we know, copula models are not common in physics yet. The main purpose of this paper is to show how copula can be useful in modeling distributions concerning breakdown of gases.

In many real-life situations, we are interested in the value of a physical quantity that is difficult or impossible to measure directly. An example of such quantities will be treated in this paper.

Electrical breakdown of gases is of a great significance because of wide applications of gases in electronics and technology. The time that elapses from the moment of the application of the voltage greater than the static breakdown voltage U_s to the breakdown is the breakdown time delay t_d . It consists of the statistical time delay t_s (from the application of a sufficient voltage and appearance of a free electron initiating breakdown) and the formative time delay t_f (from this moment to the collapse of the applied voltage and the occurrence of a

self-sustained current) [2]. So, the breakdown time delay can be regarded as the sum of the statistical time delay and the formative time delay, i.e.,

$$t_d = t_s + t_f .$$

Breakdown time delay, as well as statistical and formative time delay are stochastic variables and statistical approach can be very useful. Meanwhile, direct simultaneous measurements of both the statistical and the formative time is not possible. The scientists resort to statistical methods to separate them theoretically. One suggestion is to choose the minimal measured values of time delay in each series of measurements to play the role of formative time delay [3, 4].

Some authors develop the theory of breakdown considering statistical time delay and formative time delay as two independent random variables. But, they are positive dependent [4] except when the rate of electron production is very low (high relaxation time τ).

We should model the general distribution of t_d starting from the marginal distributions of t_s and t_f when the last two are dependent and have known margins.

It is easy to compute the distribution of sum t_d when the summands t_s and t_f are independent and their margins are known. In such case the convolution will give the answer.

Convolution is a binary operation that maps the probability distributions of two independent random variables to the distribution of their sum. This binary operation can be extended in two directions: (i) replace addition by other operations on random variables; (ii)

allow stochastic relationship to be some other than independence [5].

Obviously we will have to deal with the extension (ii).

The key of our development is the notion of copulas.

2. COPULA

Let $I = [0,1]$ be the closed interval in R .

Definition 1 [1]: A copula is a function $C : I^2 \rightarrow I$ with the following properties:

1. For every $u, v \in I$,

$$C(u, 0) = 0 = C(0, v)$$

and

$$C(u, 1) = u \text{ and } C(1, v) = v;$$

2. For every $u_1, u_2, v_1, v_2 \in I$ such that $u_1 \leq u_2$ and $v_1 \leq v_2$,

$$C(u_2, v_2) - C(u_2, v_1) - C(u_1, v_2) + C(u_1, v_1) \geq 0.$$

It is easy to verify that each copula C satisfies the condition

$$W \equiv \max(u + v - 1, 0) \leq C(u, v) \leq \min(u, v) \equiv M$$

for any $(u, v) \in I^2$.

Copulas W and M are known as Fréche-Hoeffding lower and upper bound, respectively.

The connection between copulas and (cumulative) distribution functions (df-s) gives famous Sklar's Theorem:

Theorem 1 [6]: Let H be the joint distribution function of real-valued random variables X and Y with marginal df-s F_X and F_Y respectively. Then there exists a copula

C such that for all $x, y \in R = R \cup \{-\infty, \infty\}$,

$$H(x, y) = C(F_X(x), F_Y(y)).$$

(1)

If F_X and F_Y are continuous, then C is unique; otherwise, C is uniquely determined on $RanF_X \times RanF_Y$. Conversely, if C is a copula and F_X and F_Y are df-s, then the function H defined by (1) is a joint df of random variables X and Y with margins F_X and F_Y respectively.

Some else stochastic properties of copulas for absolutely continuous random variables X and Y are:

- X and Y are independent iff their copula is the product copula

$$\Pi \equiv \Pi(u, v) = uv$$

- X and Y are connected by M iff Y is a.s. an increasing function of X

- X and Y are connected by W iff Y is a.s. an decreasing function of X .

3. CONVOLUTION

In this paper, we shall be interested in convolution of probability density functions (pdf-s) only. So, if X and Y are absolutely continuous independent random variables with pdf-s f_X and f_Y respectively, the sum $Z = X + Y$ will have pdf which is the convolution of f_X and f_Y :

$$f_Z(z) = (f_X * f_Y)(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_X(\tau) f_Y(z - \tau) d\tau.$$

(2)

If X and Y are absolutely continuous, their df-s are continuous. Their pdf-s need not be continuous, but they are Borel functions for sure. The convolution defined by (2), defines the binary operation "*" on the set of integrable functions on R . Some algebraic properties of such operation are:

- commutativity
- associativity
- distributivity and so forth.

When some generalisation of convolution is considered, the authors mainly consider such generalization which satisfies the above algebraic properties [5] and some functional properties that satisfies ordinary convolution.

4. THE PROBLEM AND POSSIBLE

SOLUTION

Let F_{t_d} , F_{t_s} and F_{t_f} be df-s and f_{t_d} , f_{t_s} and f_{t_f} be pdf-s of random variables t_d , t_s and t_f , concerning breakdown, respectively. While the random variable t_f has, basically, normal (Gaussian) distribution for one initiating mechanism [7], the distribution of t_s changes and can be expressed as a convex mixture of two distributions, normal and exponential one [8]. The distribution of t_s changes depending on relaxation time τ .

$$f_{t_s}(x) = a_G \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad x \in R,$$

$$+ a_E \frac{1}{\lambda} \exp\left[-\frac{x}{\lambda}\right]$$

where $a_G, a_E \geq 0$, and $a_G + a_E = 1$. Let us remark that when the real problem is treated, we only consider the region of real and positive time, i.e., $x > 0$.

Of course, among other parameters, the breakdown time delay depends on the type and pressure of gas, electrode material and geometry, illumination, presence of impurities, working voltage and relaxation time, but among other the same conditions, it can be treated as a function of relaxation time τ (only). For small values of relaxation time τ it is Gaussian, $a_E = 0$, after that it becomes Gauss–exponential mixture of distributions, $a_G > 0$ and $a_E > 0$ and at last, for high enough τ , it becomes exponential, $a_G = 0$ [8, 9]. That means that

$$t_s : \begin{cases} \mathcal{N}(\mu_{t_s}, \sigma_{t_s}^2) & , \quad \text{low } \tau \\ a_E \mathcal{E}(\lambda) + a_G \mathcal{N}(\mu, \sigma^2) & , \quad \text{moderate } \tau \\ \mathcal{E}(\lambda_{t_s}) & , \quad \text{high } \tau \end{cases}$$

and

$$t_f : \mathcal{N}(\mu_{t_f}, \sigma_{t_f}^2).$$

So, how to determine the distribution of the sum of t_s and t_f ? The question of determining the pdf of a sum of two dependent random variables have been widely discussed in literature and was originally raised by A. N. Kolmogorov. Computational problem of computing df of a linear combination of a certain number n of known df-s is treated in [10]. Conclusion was that the problem was computationally hard in spite of the fact that there was an efficient algorithm for computing the exact range for such linear combination. According to the result [11], it is known that for, the sum of only two dependent random variables, the exact, best possible, bounds for F_{t_d} are

$$F_{t_d}^{\diamond}(z) = \max_{x, y: x+y=z} \max(F_{t_s}(x) + F_{t_f}(y) - 1, 0),$$

$$\overline{F_{t_d}}(z) = \min_{x, y: x+y=z} \min(F_{t_s}(x) + F_{t_f}(y), 1),$$

where $F_{t_d}^{\diamond}$ and $\overline{F_{t_d}}$ are lower and upper bound for F_{t_d} respectively. Meanwhile, in many applications it is necessary to know and use "point" estimate of F_{t_d} i.e. of f_{t_d} .

Copulas provide a natural framework for the study of such problem. Especially, in copula model we can integrate different families of probability distributions which is important in our case. This is the main advantage

of this approach because we deal with fixed margins. Even more, the reader should be aware of the fact that any paper bearing a title that contains a phrase such as "when the margins are fixed" is a paper involving copulas [12].

So,

$$F_{t_d}(z) = \iint_{x+y \leq z} dC(F_{t_s}(x), F_{t_f}(y)),$$

where C is the copula. According to Sklar's Theorem, because F_{t_s} and F_{t_f} are continuous, the copula C will be unique.

Meanwhile, one of the difficulty is, in general, the choice of copula [13]. There is no a systematic rigorous method for the choice of copula. Nothing can tell us that the chosen copula, or even the family of copulas, will converge to the real structure dependance of the underlining data. Our problem will always be to chose the copula that fits the data best.

Copulas allow marginal distributions and dependence structure to be modeled separately. As in the example treated in this paper, the families of marginal distributions are known, it will be convenient to use parametric method to estimate copula. This method is the two-step method so called the method of inference function for margins (IFM). It also requires to choose copula family before the estimation procedure is started. In the first step [14] we have to estimate parameters of the distributions of t_s and t_f . For that purpose, maximum likelihood estimation (MLE) for the parameters of the distribution of t_f , and in the cases when τ is low and high, MLE will be used for estimating parameters of the distribution of t_s also. When τ is moderate, modified MLE, known as EM algoritam have to be used. In the second step copula (dependence) parameters have to be estimated also by MLE method, but considering that estimates obtained in the first step are real values of parameters of the distributions of t_s and t_f .

How to choose copula family? We should include all the physical relation that we know between considered random variables to narrow the set of possible copulas. In our example, one such relation is that the two random variables t_s and t_f exhibit positive dependence except on the narrow saturation region [4, 14], where they are independent. So, their copula satisfies the relation

$$\Pi \leq C \leq M.$$

Also, we can use empirical copula determined by real data set and compare it (according to some distance method) to all previously estimated copulas (by IFM method) and chose the one that performs minimal distance to the empirical copula.

5. CONCLUSION

Copulas arised from scientists' interest for the question of determining the relationship between a multidimensional probability distribution function and its lower dimensional margins. So, copulas can be seen as the functions that link n-dimensional distribution functions to their one-dimensional margins. The first results concerning copulas were obtained in connection with the study and development of the theory of probabilistic metric spaces. In recent decades, not only the theory, but even more the application of copulas arose growing interest of scientists in many fields of science. We extended the application in physics, to the problem of time delay for breakdown in gases.

REFERENCES

- [1] Nelsen, R. B., *An Introduction to Copulas*, Springer, 2006.
- [2] Morgan, C. G., *Electrical Breakdown of Gases*, edited by Meek J. M. and Craggs J. D. (John Wiley & Sons, Chichester)(1978) 656-688.
- [3] Marković, V. LJ., Petrović, Z. LJ. and Pejović, M. M., *Modelling of charged particle decay in nitrogen afterglow*, Plasma Sources Sci. Technol. 6 (1997) 240-246
- [4] Marković V. Lj., Popović B. Č., Jovanović A. P., Stamenković S. N. and Stankov M. N., *Memory effect and time correlations in breakdown initiation of DC glow discharge in argon and synthetic air*, EPL (Europhysics Letters), 109 (2015) 15002-p1-p6
- [5] Frank, M. J., *Convolutions for dependent random variables*, Advances in Probability Distributions with Given Marginals, Beyond the Copulas, Edited by Dall'Aglio, G., Kotz, S. and Salinetti, G., Springer, (1991) 75-93.
- [6] Sklar, A., *Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges*, Publications de L' Institut de Statistique de L' Université Paris,8, (1959), 229-231.
- [7] Stamenković, S. N., Marković, V. LJ., Gocić, S. R. and Jovanović, A. P., *Influence of different cathode surfaces on the breakdown time delay in neon DC glow discharge*, Vacuum 89 (2013) 62-66
- [8] Marković, V. LJ., Jovanović, A. P., Stamenković, S. N. and Popović, B. Č., *From binomial distribution of electron occurrence to Gauss and Gauss-exponential distribution of the statistical time delay: Analytical transition and simulations*, EPL (Europhysics Letters),100(2012)45002-p1-p5
- [9] Jovanović, A. P., Popović, B. Č., Marković, V. LJ., Stamenković, S. N. and Stankov, M. N., *Mixture distributions for the statistical time delay in synthetic air at low pressure*, Eur. Phys. J. Appl. Phys. 67 (2014) 20801-p1-p8
- [10] Kreinovich, V. and Ferson S., *Computing best-possible bounds for the distribution of a sum of several variables is NP-hard*, International Journal of Approximate Reasoning 41 (2006) 331-342
- [11] Frank, M.J., Nelsen, R.B., and Schweizer, B. 'Best-possible bounds for the distribution of a sum - a problem of Kolmogorov', Probab. Th. Rel. Fields 74(1987) 199-211.
- [12] Schweizer, B., *Thirty Years of Copulas*, Advances in Probability Distributions with Given Marginals, Beyond the Copulas, Edited by Dall'Aglio, G., Kotz, S. and Salinetti, G., Springer, (1991)13-50
- [13] Durrleman, V., Nikeghbali, A. and Roncalli, T., *Which Copula Is the Right One?*, Groupe de Recherche Operationelle, Credit Lyonnais, France, (2000), 13-15.
- [14] Popović, B. Č., Jovanović, A. P., Marković, V. LJ. and Skamagkoulis, M. M., *Copula Model for Bivariate Distribution of Statistical and Formative Time Delay*, Submitted for publication



EVALUATING FOOTBALL PLAYERS EFFICIENCY USING DIFFERENT MULTIVARIATE ANALYSIS APPROACHES

MILAN RADOJIČIĆ

Faculty of Organizational Science, Belgrade, milan.radojicic@fon.bg.ac.rs

ALEKSANDAR ĐOKOVIĆ

Faculty of Organizational Science, Belgrade, djokovic.aleksandar@fon.bg.ac.rs

VELJKO JEREMIĆ

Faculty of Organizational Science, Belgrade, jeremic.veljko@fon.bg.ac.rs

Abstract: In modern sports, as for trainers and for top management teams, it is very important to acquire accurate information about capabilities and characteristics of each football player. In order to improve their efficiency, sports clubs should use statistical and mathematical methods. The main goal for certain clubs is producing great players and transferring them to other world class clubs. Every club should take advantage of the transfer market and find the most appropriate moment to sell the player. That moment might be when a player is valued higher than he is really worth. In this survey, three different methods were applied in order to measure the efficiency of players. With distance-based analysis (DBA), data envelopment analysis (DEA) and regression analysis we found which players should be marked as efficient. The purpose of the paper was not just to show the quality of each player, but to show whether his market value is justified or not.

Keywords: I-distance, distance based analysis, data envelopment analysis, regression analysis, football clubs, efficiency analysis, sports management.

1. INTRODUCTION

For the last three decades, sports associations and professional clubs have a huge impact on the world economy. By taking participation in organized competitions, sports clubs can earn substantial financial income, in case they achieve a good competitive result. In [1] it is induced that the European football is by far the most popular sport in the world, the statement often confirmed by many researchers [2]. Therefore, the sport has become very interesting for various sponsors and investors.

To make a sports club appealing to sponsors and fans, the club needs to achieve good results. First, they need good players. Without quality, there is no success, and without success, there is no income. All registered sports clubs play in their national leagues. Through national championship, they are trying to enter on the international scene. International competitions bring the highest revenue and give the highest reputation to clubs. The exception is American sports leagues, which is only national but still very profitable for the participants. The most popular and most viewed sports event is UEFA Champions League. Only from television rights, in the season 2012-2013, nearly 410 million Euros were distributed among the clubs. In addition, another 495 million Euros was allocated to participants based on their success in the competition. The winner of the

competition, Bayern Munich, cashed in a total amount of over 55 million Euros.

This paper aims to show the importance of efficiency analysis. With three different methodologies, a ranking of football players from four-semifinalist of UEFA Champions League 2012-2013 season will be measured. There are two Spanish football clubs – Real Madrid and Barcelona, and two German football clubs – Bayern Munich and Borussia Dortmund. Analyses included only outfield players (without goalkeepers). As a preliminary analysis, factor analysis will be conducted in order to reduce the volume of the data. I-distance method will be used for ranking players based on their football qualities in order to draw conclusions about which team has better players. Those results are used for measuring DBA rank. Multiple linear regression was conducted in order to examine the linkage between characteristics of the players and their market value. The goal is to find a valid model to predict the market value of players based on their football skills and abilities. In the end, data envelopment analysis (DEA) and the distance-based analysis (DBA) will show which players are efficient (whose market value is higher than it really should be). Results from all three approaches will be presented.

2. METHODOLOGY

Regression analysis

Regression analysis represents several statistical methods that detect whether there is a relationship between the observed phenomena and their shape and direction. Regression analysis examines the relationship between two or more variables and explains the effect of a change in the independent variable to the dependent variable. It is also used to predict the value of the dependent variable based on at least one independent variable. We can distinguish simple and multiple regression. Further adjustment is based on the type of dependency between variables, and whether the dependence is linear or nonlinear. The regression model, which contains one dependent and one independent variable, is a simple regression model, and model that contains one dependent and two or more independent variables is the multiple regression model. In this research paper, multiple regression model is used. Multiple regression model has the following form:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \quad (1)$$

where Y_i is the measured value of the dependent variable, X_1, X_2, \dots, X_k are measured values of the independent variables, and ε_i is the random variable [3].

Multiple regression is usually divided into standard, hierarchical and gradual. In this paper, standard multiple regression will be used. It is also called simultaneous because all independent variables are simultaneously entered into the equation. It evaluates the predictive power of each independent variable to find out which variable is the best predictor.

Distance based analysis

I-distance is a metric distance in an n -dimensional space. It was originally proposed and defined by B. Ivanovic [4]. Ivanovic originally devised this method to rank countries according to their level of development based on several indicators; many socio-economic development indicators have been considered and the problem was how to use all of them in order to calculate a single synthetic indicator that would thereafter represent the rank [5].

For a selected set of variables $X^T = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ chosen to characterize the entities (Jeremic et al. 2011a, Bulajic et al. 2012), the I-distance between the two entities $e_r = (x_{1r}, x_{2r}, \dots, x_{kr})$ and $e_s = (x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_{ks})$ is defined as

$$D(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_i(r, s)|}{\sigma_i} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{j \dots i-1}) \quad (2)$$

where $d_i(r, s)$ is the distance between the values of variable X_i for e_r and e_s , e.g. the discriminate effect,

$$d_i(r, s) = x_{ir} - x_{is}, i \in \{1, \dots, k\} \quad (3)$$

σ_i the standard deviation of X_i , and $r_{j \dots i-1}$ is a coefficient of the partial correlation between X_i and $X_j, (j < i)$ [6].

I-distance method shall be applied to several input indicators as to calculate their $I - distance_{input}$ values.

The same approach shall be applied to output indicators and the $I - distance_{output}$ values will be calculated for these as well. The obtained values will be brought to a 0-1 level by implementing a L^∞ norm. The efficiency of the DMU will be calculated as the:

$$DBA_{eff} = \frac{I - distance_{output}}{I - distance_{input}} \quad (4)$$

Any DMU with an efficiency ratio of at least 1 ($DBA \geq 1$) is to be considered as efficient [7]. In this paper, inputs are calculated values of I-distance and output is value of the player on the transfer market.

Data envelopment analysis

The Data envelopment analysis (DEA) is an increasingly popular non-parametric method for relative efficiency evaluation. It allows performance measurement of the decision making unit (DMU) in comparison to the achievement of the other units in observing set, which operates in similar circumstances, produces the same outputs consuming the same inputs (homogeneity property). DEA was introduced in [8]. In order to make a difference among efficient DMU and allow their ranking, super-efficiency measuring model were used proposed in [9]. Suppose that DMU_j ($j=1, \dots, n$) uses inputs x_{ij} ($i=1, \dots, m$) to produce outputs y_{rj} ($r=1, \dots, s$).

Andersen-Petersen's super-efficiency DEA model is following:

$$\begin{aligned} (\max) h_k &= \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} \\ s.t. & \\ \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \quad j \neq k \\ \mu_r &\geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s \\ \nu_i &\geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (5)$$

The optimal values of efficiency scores h_k are obtained by solving the linear model, k -times (once for each DMU in order to compare it with other DMUs). Efficiency score h_k is greater or equal to 1 for all efficient units and smaller than 1 for inefficient units. In this way, ranking of units, according to their efficiency, is enabled [10].

3. FINDING AND ANALYSIS

The data for the analysis were collected from the database of the world's best football simulation (Football Manager 2013). Professional experts from all around the world

participated in the creation of database and evaluation of player's ability. Only outfield players who spent at least 270 minutes on the pitch in 2012/2013 season are analyzed. Table 1 shows estimated players abilities.

Table 1: Player abilities which were estimated

Technical	Mental	Physical
Corners	Aggression	Acceleration
Crossing	Anticipation	Agility
Dribbling	Bravery	Balance
Finishing	Composure	Jumping
First touch	Concentration	Natural Fitness
Free kick taking	Creativity	Pace
Heading	Decisions	Stamina
long shots	Determination	Strength
Long throws	Flair	
Marking	Leadership	
Passing	Off the ball	
Penalty taking	Positioning	
Tackling	Teamwork	
Technique	Work Rate	

Factor analysis was conducted on each group of abilities in order to reduce the amount of data. From factor analyses, we obtained ten principal components that we used for conducting our analyses. Table 2 shows ranking of players.

Table 2: Rank of players by three methods

Player	DBA Rank	DEA Rank	Regression Rank
Pedro	1	14	3
Karim Benzema	2	8	7
Gonzalo Higuain	3	31	31
Marco Reus	4	29	44
Andres Iniesta	5	10	9
Mario Gomez	6	3	32
Alexis Sanchez	7	16	22
Cristiano Ronaldo	8	2	1
Sergio Busquets	9	7	5
Angel Di Maria	10	23	15
Mesut Ozil	11	9	13
Adriano	12	47	17
Lionel Messi	13	4	2
Cesc Fabregas	14	18	12
Arijen Robben	15	1	63
Marcelo	16	32	20
Gerard Pique	17	17	18
Jakub Blaszczykowski	18	21	30
Thiago	19	41	41
Franck Ribery	20	19	53
Mario Goetze	21	20	33
Xherdan Shaqiri	22	36	40
Sergio Ramos	23	37	19
Alex Song	24	24	11
Holger Badstuber	25	11	23
Mats Hummels	26	35	28
David Villa	27	43	68
Jordi Alba	28	44	52
Robert Lewandowski	29	22	37
Alvaro Arbeloa	30	46	14
Neven Subotic	31	45	10
Ilkay Gundogan	32	54	57
Toni Kroos	33	12	26

Player	DBA Rank	DEA Rank	Regression Rank
Jose Callejon	34	57	51
Javier Mascherano	35	6	8
Luka Modric	36	28	48
Thomas Muller	37	26	49
Pepe	38	30	4
Luiz Gustavo	39	13	6
Mario Mandzukic	40	38	36
Kaka	41	51	73
Philipp Lahm	42	34	70
Christian Tello	43	70	35
Javi Martinez	44	42	39
Raul Albiol	45	48	16
Daniel Alves	46	39	58
Moritz Leitner	47	53	21
Kevin Grosskreutz	48	52	29
Ivan Perisic	49	65	72
Bastian Schweinsteiger	50	27	54
Rafinha	51	66	67
Sven Bender	52	56	25
Fabio Coentrao	53	59	60
Michael Essien	54	61	38
Lukasz Piszczek	55	49	55
Xabi Alonso	56	15	43
Jerome Boateng	57	25	62
Sami Khedira	58	55	59
Dante	59	67	45
Marcel Schmelzer	60	58	42
David Alaba	61	63	71
Raphael Varane	62	64	50
Felipe Santana	63	40	27
Diego Contento	64	60	66
Xavi	65	50	77
Julian Schieber	66	62	74
Nuri Sahin	67	33	64
Marc Bartra	68	72	69
Alvaro Morata	69	75	47
Martin Montoya	70	68	46
Sebastian Kehl	71	71	61
Claudio Pizarro	72	74	76
Charles Puyol	73	73	75
Richardo Carvalho	74	5	34
Anatoliy Tymoshchuk	75	69	65
Nacho	76	76	24
Daniel van Buyten	77	77	56

As mentioned earlier, we used three methods for measuring the efficiency: regression method, the DEA method and DBA method. The goal was to measure the efficiency of each player, in terms of how much his playing ability generates his market value. In regression method, players are considered efficient if their original market value is higher than the regression model predicted value (if the difference between their original value and the model estimated value is positive). The player which market value has the highest decline should be ranked first. Players whose value has been increased are considered inefficient, because if the club decided to sell such player, they would earn less money than the player is actually worth. Obtained regression model show that regression is statistically significant with 65% of variance explained. All required assumptions for regression analyses have been met [11]. In the DBA, inputs are represented by the values obtained from the I-distance calculation. Outputs are market values of players normalized through Chebyshev transformation,

i.e., $L \infty$ metrics. All players who have a value greater than 1 are considered efficient. For DEA AP model is used with constant returns to scale. The input data are the principal components that are previously obtained. The output data is represented with a transfer value of players. Players with a score of 100% or higher are considered efficient.

As it can be seen from Table 2, DBA model gives the lowest number of efficient players (13), DEA recommends slightly more (17), while regression model suggests that 37 of the 77 players should be considered as efficient. The most efficient player according to DBA method is Pedro. Benzema, Higuain, Reus and Iniesta follow him. Ronaldo is at 8th position and Messi is ranked 13th. Among the efficient players. According to DEA method, the most efficient player is Robben. He was just below the border of efficiency according to DBA. Ronaldo, Gomez, Messi, and Carvalho follow him. It is interesting that according to DBA method Carvalho is ranked at 74th place. Pedro, Benzema, and Higuain who were, according to DBA method, ranked at 1st, 2nd, and 3rd place respectively, now occupies 14th, 8th and 31st position. Higuain is considered inefficient. Both DBA and DEA agree about the last two places where the 76th position is reserved for Nacho and the last 77th for Van Buyten. The most efficient player under proposed regression model is Ronaldo. Messi, Pedro, Pepe, and Busquets follow him. Pepe is considered inefficient according to both DBA and DEA; he is located in the 38th and 30th position, respectively. Busquets, in another hand, is a player who is considered efficient by all three proposed methods. DBA puts him in ninth and DEA in the seventh position. Robben, who was the most efficient according to DBA, is inefficient by regression model and he is ranked at the very low position. Seven players are efficient by all three methods: Pedro, Benzema, Gomez, Sanchez, Ronaldo, Busquets, and Messi. Barcelona is represented with four, Real Madrid with two, and Bayern with only one football player. Borussia Dortmund does not have any player who is efficient by all these three methods. Moreover, if we look at players who are efficient by at least two of three methods, it can be seen that there are no such players in Borussia Dortmund. Sixteen players are considered efficient by at least two methods.

4. CONCLUSION

In this paper, we applied three methods in order to measure the efficiency of football players: regression analysis, DBA method and DEA method. Recently there were many papers which comparing DBA and DEA [12,13]. Here, DBA method was applied in a slightly modified way because, there was only one output, and it was not possible to apply I-distance on it, so it was just

standardized. DEA method is a technique that is considered as appropriate for measuring efficiency. We used the AP model, which allows the decision-makers to rank observed entity. A novel method using multiple regression to determine the efficiency was conducted. Criteria we used, is that player is going to be efficient if his predicted market value is less than the actual. That means that club can sell him and earn more money than the player is really worth. Only seven players were efficient according to all three methods.

REFERENCES

- [1] Matheson, V. A. (2003). *European football: a survey of the literature*. Williams College, Department of Economics.
- [2] Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501-536.
- [3] Mladenović, Z., & Petrović, P. (2007). *Uvod u ekonometriju*. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta.
- [4] Ivanovic, B. (1977). Classification theory. *Belgrade, Serbia: Institute for Industrial Economics*.
- [5] Radojicic, Z., & Jeremic, V. (2012). Quantity or quality: What matters more in ranking higher education institutions. *Current science*, 103(2), 158-162.
- [6] Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., & Radojicic, Z. (2011). A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics*, 87(3), 587-596.
- [7] Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D., & Radojicic, Z. (2012). An Evaluation of European Countries' Health Systems through Distance Based Analysis. *Hippokratia*, 16(2), 170-174.
- [8] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- [9] Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management science*, 39(10), 1261-1264.
- [10] Ray, S. C. (2004). *Data envelopment analysis: theory and techniques for economics and operations research*. Cambridge university press.
- [11] Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Osterlind, S. J. (2001). Using multivariate statistics.
- [12] Radovanović, S., Radojičić, M., Jeremić, V., & Savić, G. (2013). A novel approach in evaluating efficiency of basketball players. *Management*, 18(67), 37-45.
- [13] Jayaraman, A. R., Srinivasan, M. R., & Jeremic, V. (2013). Empirical Analysis of Banks in India using DBA and DEA. *Management*, 18(69), 25-35.



МЕРЕЊЕ СОЦИО-ЕКОНОМСКЕ РАЗВИЈЕНОСТИ ЗЕМАЉА ЕВРОПСКЕ УНИЈЕ – МУЛТИВАРИЈАЦИОНИ ПРИСТУП

MEASURING SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF EUROPEAN UNION COUNTRIES – A MULTIVARIATE APPROACH

НЕМАЊА МИЛЕНКОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, milenkovic@fon.bg.ac.rs

АЛЕКСАНДАР ЂОКОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, djokovic@fon.rs

ГОРДАНА САВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, savic.gordana@fon.bg.ac.rs

МАРИНА ЈОВАНОВИЋ МИЛЕНКОВИЋ

Факултет организационих наука, Београд, marinaj@fon.bg.ac.rs

МИЛАН МАРТИЋ

Факултет организационих наука, Београд, martic.milan@fon.bg.ac.rs

Резиме: *Анализа социо-економске развијености земаља не може бити ограничена искључиво на коришћење индикатора економске и социјалне развијености; потребно је укључити индикаторе ИКТ развијености, као и индикаторе развијености здравствених система земаља. Ово истраживање, спроведено на 28 земаља Европске уније, обухвата 19 индикатора који су у претходном истраживању коришћени при анализи социо-економске развијености МЕНА (Middle East and North Africa) земаља. Циљ овог истраживања је идентификација најважнијих индикатора социо-економске развијености земаља Европске уније коришћењем итеративне „корак по корак“ методе Ивановићевог одстојања, на основу које се омогућава постепено искључивање индикатора који нису статистички значајни.*

Кључне речи: *социо-економска развијеност, Европска унија, индикатори, Ивановићево одстојање.*

Abstract: *The analysis of the level of socio-economic development of a country cannot be limited exclusively to economic and social indicators. It is necessary to include the indicators of ICT development, as well as indicators of health system development. This research paper, conducted on 28 countries of the European Union, includes 19 indicators that were used in a previous research in the analysis of socio-economic development of the MENA (Middle East and North Africa) countries. The aim of this study is to identify the most important indicators of socio-economic development of the European Union countries by using iterative stepwise I-distance method, which allows the stepwise exclusion of statistically insignificant indicators.*

Keywords: *socio-economic development, European Union, indicators, I-distance.*

1. УВОД

Социо-економска развијеност је концепт који се често наводи у савременој литератури. Приступу његовој евалуацији су веома различити. У недостатку добро дефинисаних мера социо-економског развоја, многи истраживачи су користили различите индикаторе који су углавном произвољно одабрани.

Током последњих неколико деценија, ИКТ развијеност је уведена као показатељ социо-економског развоја и бројни радови [1], [2], [3] су истакли њен значај. Велики број истраживачких радова такође наглашава значај развоја здравственог система земље и његов утицај на социо-економску развијеност, па је и група индикатора развијености здравствених система укључена у истраживање.

У овом раду, истраживање је спроведено на 28 земаља Европске уније и обухвата 19 идентичних индикатора који су у претходном истраживању [4] коришћени при анализи социо-економске развијености МЕНА (Middle East and North Africa) земаља. Индикатори су подељени у четири категорије на следећи начин:

- Економски индикатори: 1. БДП по глави становника, ППП (у доларима), 2. Раст БДП-а (у %), 3. Увоз добара у услуга (% БДП-а), 4. Извоз добара у услуга (% БДП-а), 5. Пољопривреда, додата вредност (% БДП-а), 6. Индустрија, додата вредност (% БДП-а), 7. Услуге, додата вредност (% БДП-а).
- Социјални индикатори: 8. Становници са завршеним првим степеном образовања (у %), 9. Стопа писмености становника старијих од 15 година (у

%), 10. Стопа незапослености (% радно способног становништва).

- ИКТ индикатори: 11. Број корисника фиксних телефона (на 100 становника), 12. Број интернет корисника (на 100 становника), 13. Број корисника мобилних телефона (на 100 становника), 14. Број безбедних сервера (на милион становника).
- Индикатори развијености здравственог система: 15. Очекивани животни век (у годинама), 16. Стопа смртности деце испод 5 година (на 1000 новорођанчади), 17. Број медицинских сестара и остало особља (на 1000 становника), 18. Број лекара (на 1000 становника), 19. Укупни трошкови на здравствени систем по глави становника (у доларима).

Циљ овог истраживања је идентификација најважнијих индикатора социо-економске развијености земаља Европске уније коришћењем итеративне „корак по корак“ методе Ивановићевог одстојања, на основу које се омогућава постепено искључивање индикатора који нису статистички значајни.

2. ИВАНОВИЋЕВО ОДСТОЈАЊЕ

Ивановићево одстојање је метрика у n -димензионом простору. Ивановић [5] је ову методологију осмислио за рангирање земаља на основу њиховог нивоа социо-економског развоја, измереног коришћењем неколико индикатора. У циљу стварања синтетизованог индикатора развоја, одабрани индикатори су сублимирани у једну вредност, која ће након тога представљати ранг земље. Анализе спроведене коришћењем Ивановићевог одстојања су бројне. Ивановићево одстојање је коришћено у претходним истраживањима у циљу рангирања светских универзитета [6]. Такође, коришћено је и за мерење развијености здравствених система земаља [7], одрживог развоја [8], здравствене заштите [9], као и развијености информационо-комуникационих технологија [1].

За одређени вектор индикатора $X^T=(X_1, X_2, \dots, X_k)$ изабраних да репрезентују ентитете (земље које се рангирају), И-одстојање између два ентитета и се дефинише као:

$$D(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_i(r, s)|}{\sigma_i} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{j_i, 12 \dots j-1}) \quad (1)$$

где је $d_i(r, s)$ одстојање између вредности индикатора X_i ентитета e_r и e_s , тј. Дискриминациони ефекат, σ_i стандардна девијација од X_i , а $r_{j_i, 12 \dots j-1}$ је парцијални коефицијент корелације између X_i и X_j , ($j < i$).

Рачунање вредности И-одстојања је итеративно и врши се кроз неколико етапа:

- Израчунава се вредност дискриминационог ефекта за индикатор X_1 (најважнији индикатор, онај који пружа највећу количину информација о посматраној појави);
- Додаје се вредност дискриминационог ефекта индикатора X_2 који није покривен индикатором X_1 ;

- Додаје се вредност дискриминационог ефекта индикатора X_3 који није покривен индикаторима X_1 и X_2 ;
- Процедура се понавља за све индикаторе.

Понекад није могуће успоставити исти предзнак за све индикаторе, те се стога могу појавити негативни коефицијенти корелације и негативни коефицијенти парцијалне корелације. Због тога се врло често користи квадратно И-одстојање које је дефинисано као:

$$D^2(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{d_i^2(r, s)}{\sigma_i^2} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{j_i, 12 \dots j-1}^2) \quad (2)$$

Ентитет са минималним (или максималним или просечним) вредностима за сваки од индикатора се поставља као референтни ентитет. Рангирање ентитета у скупу се базира на израчунавању одстојања сваког ентитета од оног који је постављен за референтни ентитет.

Коришћењем израчунатих И-одстојања можемо пратити степен развијености земаља, као и ранг сваке земље. Поред тога, добијени резултати се могу користити за испитивање значајности индикатора укључених у анализу, односно за њихову селекцију. Ова процедура је у ствари итеративна „корак по корак“ селекција заснована на Ивановићевом одстојању. Наиме, када се израчуна коефицијент корелације сваког индикатора са И-одстојањем, може се испитати значај сваког индикатора: што је коефицијент корелације већи, то је количина информација коју пружа посматрани индикатор такође већа; кад је $p < 0.05$, индикатор је значајан. У супротном, индикатор није релевантан у мерењу развијености земаља. Један од два разлога могу објаснити коефицијент корелације између Ивановићевог одстојања и посматраног индикатора који није статистички значајан: или посматрани индикатор није важан за мерење развијености земаља, или је дискриминациони ефекат посматраног индикатора већ садржан у претходним индикаторима [4]. Без обзира на то који је од ова два разлога у питању, тај индикатор би требало искључити из даље анализе.

У циљу одабира само оних индикатора који имају статистички значајан коефицијент корелације са израчунатим Ивановићевим одстојањем, потребно је постепено искључивати један по један посматрани индикатор. Када се искључи индикатор са најнижим коефицијентом корелације (који није статистички значајан), Ивановићево одстојање се поново рачуна коришћењем свих преосталих индикатора. Овај процес искључивања индикатора се понавља до тренутка када сви посматрани индикатори буду имали статистички значајан коефицијент корелације са израчунатим Ивановићевим одстојањем [4]. Када се то деси, добијене резултате проглашавамо коначним резултатима.

3. РЕЗУЛТАТИ

Подаци коришћени у овом раду укључују 19 индикатора за 28 земаља чланица Европске уније. Коришћени су подаци за 2013. годину, обзиром да је то последња година за коју постоје све вредности индикатора за

све земље Европске уније. За имплементацију методологије И-одстојања коришћен је статистички пакет СПСС верзија 22. Вредности квадратног И-одстојања за сваку од земаља Европске уније на основу почетних 19 индикатора представљене су у Табели 1.

Табела 1: Вредности И²-одстојања и ранг земаља – прво израчунавање

Земља	И ² -одстојање	Ранг
Луксембург	93.42	1
Данска	42.42	2
Аустрија	38.78	3
Холандија	37.42	4
Белгија	36.37	5
Шведска	36.26	6
Велика Британија	35.24	7
Ирска	34.87	8
Грчка	34.06	9
Финска	33.97	10
Немачка	33.90	11
Француска	31.21	12
Летонија	29.12	13
Италија	28.78	14
Кипар	28.70	15
Естонија	27.89	16
Литванија	25.59	17
Шпанија	23.25	18
Словенија	22.54	19
Чешка	22.29	20
Пољска	19.67	21
Португалија	19.12	22
Малта	17.56	23
Словачка	16.62	24
Мађарска	16.34	25
Бугарска	16.09	26
Хрватска	14.97	27
Румунија	12.69	28

Коефицијенти корелације сваког од посматраних индикатора са израчунатим Ивановићевим одстојањем представљени су у Табели 2 (израчунат је Пирсонов коефицијент корелације).

Табела 2: Корелације иницијалних индикатора са израчунатим Ивановићевим одстојањем

Индикатор	r
БДП по глави становника, ППП (у доларима)	0.942**
Пољопривреда, додата вредност (% БДП-а)	0.903**
Укупни трошкови на здравствени систем по глави становника (у доларима)	0.781**
Стопа смртности деце испод 5 година (на 1000 новорођенчади)	0.712**
Број безбедних сервера (на милион становника)	0.672**
Услуге, додата вредност (% БДП-а)	0.641**
Број интернет корисника (на 100 становника)	0.622**
Индустрија, додата вредност (% БДП-а)	0.575**
Извоз добара и услуга (% БДП-а)	0.574**
Очекивани животни век (у годинама)	0.448*
Стопа незапослености (% радно способног становништва)	0.430
Број корисника фиксних телефона (на 100 становника)	0.370

Становници са завршеним првим степеном образовања (у %)	0.360
Број медицинских сестара и осталог особља (на 1000 становника)	0.338
Стопа писмености становника старијих од 15 година (у %)	0.332
Број корисника мобилних телефона (на 100 становника)	0.252
Увоз добара и услуга (% БДП-а)	0.178
Раст БДП-а (у %)	0.010
Број лекара (на 1000 становника)	0.005

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Итеративни „корак по корак“ метод Ивановићевог одстојања искључује индикатор који није статистички значајан и који има најмању вредност коефицијента корелације са израчунатим Ивановићевим одстојањем. У овом случају, из анализе је искључено седам индикатора. У Табели 3 представљене су вредности Ивановићевог одстојања у осмом израчунавању, као и ранг земаља Европске уније.

Табела 3: Вредности И²-одстојања и ранг земаља – последње израчунавање

Земља	И ² -одстојање	Ранг
Луксембург	77.37	1
Холандија	25.99	2
Данска	22.73	3
Шведска	21.24	4
Велика Британија	20.45	5
Кипар	19.90	6
Француска	19.65	7
Немачка	19.45	8
Белгија	18.44	9
Ирска	18.42	10
Финска	18.16	11
Аустрија	18.00	12
Грчка	15.06	13
Италија	12.19	14
Португалија	12.09	15
Шпанија	12.00	16
Малта	11.82	17
Словенија	10.9	18
Летонија	10.8	19
Естонија	9.67	20
Литванија	7.70	21
Чешка	7.06	22
Хрватска	6.40	23
Мађарска	5.73	24
Словачка	5.16	25
Пољска	3.69	26
Бугарска	3.69	27
Румунија	1.26	28

На врху листе налази се Луксембург и може се рећи да је то земља са убедљиво највишим нивоом социоекономске развијености (вредност И-одстојања је 77.37). Након ње следе Холандија, Данска и Шведска, док се на дну листе налазе Пољска, Бугарска и Румунија. Добијени резултати нису неочекивани и у складу су са претходним истраживањима. Значајност посматраних индикатора (измерена на основу коефицијената корелације индикатора са израчунатим И²-одстојањем) је представљена у Табели 4.

Табела 4: Корелације финалних индикатора са израчунатим Ивановичевим одстојањем

Индикатор	r
БДП по глави становника, ППП (у доларима)	0.949**
Пољопривреда, додата вредност (% БДП-а)	0.930**
Укупни трошкови на здравствени систем по глави становника (у доларима)	0.782**
Стопа смртности деце испод 5 година (на 1000 новорођенчади)	0.726**
Број безбедних сервера (на милион становника)	0.689**
Услуге, додата вредност (% БДП-а)	0.643**
Извоз добара и услуга (% БДП-а)	0.611**
Број интернет корисника (на 100 становника)	0.589**
Индустрија, додата вредност (% БДП-а)	0.576**
Очекивани животни век (у годинама)	0.505**
Број корисника фиксних телефона (на 100 становника)	0.450*
Стопа незапослености (% радно способног становништва)	0.395*

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Као што се може видети, сви посматрани индикатори последње итерације су статистички значајни, што значи да су ово коначни резултати. Најважнији индикатор је БДП по глави становника ($r=0.949$, $p<0.01$). Трећи и четврти индикатор су из групе индикатора развијености здравствених система, а то су Укупни трошкови на здравствени систем по глави становника ($r=0.782$, $p<0.01$) и Стопа смртности деце испод 5 година ($r=0.726$, $p<0.01$), што доказује да су индикатори из ове групе кључни у анализи социо-економске развијености земаља. Кроз анализу значајности, искључени су индикатори који су при мерењу социо-економске развијености МЕНА земаља [4] имали високу статистичку значајност (Број медицинских сестара и осталог особља, Број лекара, Стопа писмености становника старијих од 15 година и Процент становника са завршеним првим степеном образовања). То доказује да вредности тих индикатора у великој мери варирају у МЕНА земљама, док у земљама Европске уније немају велики варијабилитет и имају изузетно високе вредности за све земље.

4. ЗАКЉУЧАК

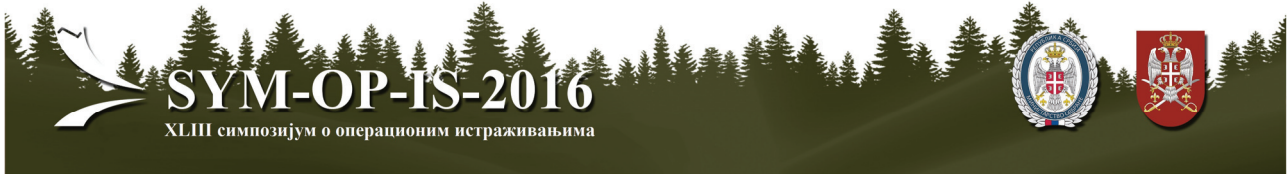
У овом раду је примењена итеративна “корак по корак” метода И-одстојања како би се измерио ниво социо-економског развоја земаља Европске Уније. Иста-

живање је започето са иницијалних 19 индикатора и неколико корака је довело до коришћења 12 индикатора који су имали статистички значајан коефицијент корелације са израчунатим И-одстојањем. Напредак у социо-економској развијености може се пратити коришћењем описане методологије И-одстојања. Израчунато И-одстојање нам може помоћи да рангирамо земље Европске Уније на основу њихове развијености, као и да испитамо разлике између њих. Поред тога, приступом коришћеним у овом раду можемо индетификовати значајност сваког од индикатора социо-економске развијености.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dobrota, M., Jeremic, V., Markovic, A., "A new perspective on the ICT development index", *Information Development*, 28(4), (2012) 271–280.
- [2] Gholami, R., Higon, D.A., Hanafizadeh, P., Emrouznejad, A., "Is ICT the key to development?", *Journal of Global Information Management*, 18(1) (2010) 66–83.
- [3] Madon, S., "The internet and socioeconomic development: exploring the interaction", *Information Technology & People*, 13(2) (2000) 85–101.
- [4] Milenkovic, N., Vukmirovic, J., Bulajic, M., Radojicic, Z., "A multivariate approach in measuring socio-economic development of MENA countries", *Economic Modelling*, 38 (2014) 604-608.
- [5] Ivanovic, B., *A method of establishing a list of development indicators*, Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1973.
- [6] Jeremic, V., Bulajic, M., & Martic, M., "A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities", *Scientometrics* 87(3) (2011) 587-596.
- [7] Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D., Radojicic, Z., "An Evaluation of European Countries Health Systems through Distance Based Analysis", *Hippokratia*, 16(2) (2012) 170-174.
- [8] Radojicic, Z., Isljamovic, S., Petrovic, N., Jeremic, V., "A novel approach to evaluating sustainable development", *Problemy Ekorozwoju*, 7(1) (2012) 81-85.
- [9] Seke, K., Petrovic, N., Jeremic, V., Vukmirovic, J., Kilibarda, B., Martic, M., "Sustainable development and public health: rating European countries", *BMC Public Health*, 13 (2013) 1-7.

СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛИ И ВРЕМЕНСКЕ СЕРИЈЕ



ON A MIXTURE PARETO DISTRIBUTION

IOANA DĂNILĂ

Doctoral School of Mathematics, Bucharest, jo.danila@yahoo.com

Abstract: *The mixture Pareto distribution is generated from logit of the weighted two-component mixture distribution which is mixed between two kinds of Pareto distributions: one simple and one length biased. In this paper, are contained and we provide different mathematical properties including the r^{th} moment and the moment generating function. Is calculated the probability density function and the cumulative distribution function and plotted some values for pdf and cdf. The further discussion is on mentioning other types of cdf-s and pdf-s, and hazard rate for generalized classes of distribution*

Keywords: *length biased, two-component mixture, mixture Pareto distribution.*

1. Introduction

Pareto distributions are very well known in the statistical literature for their capability is modeling the heavy-tailed data, such as income data, fire claim data, or exceedances of river flood data. These are very verstatile and cover a variety of uncertainties that can be usefully modelled by it.

Also, the Pareto distributions appear as „life time,, model in economics, finance, life testing, actuarial science, engineering and survival analysis. Therefore, it is used in the frequency modeling of data with a right tail and no mode in the probability density.

We say that the variable X has the Pareto distribution, denoted by $X \sim \text{Pareto}(\alpha, \beta)$ if its probability density function (pdf) has the following form:

$$g_p(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-(\alpha+1)}, \quad x \geq \beta; \alpha \geq 0, \beta \geq 0,$$

and the cumulative distribution function (cdf) is

$$G_p(x) = 1 - \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha}$$

For a thorough discussion on various properties, applications and different forms of the Pareto distribution, some mathematical properties such as the r^{th} moment and the moment generating function (mgf) of the Pareto distribution are, respectively, given by

$$E_p(X^r) = \frac{\alpha \beta^r}{\alpha - r}, \quad r = 1, 2, 3, \dots; \alpha > r,$$

and,

$$M_X(t)_p = \alpha (-\beta t)^\alpha \Gamma(-\alpha, -\beta t), \quad t < 0,$$

where,

$$\Gamma(a, b) = \int_b^\infty y^{a-1} e^{-y} dy$$

denotes an incomplete gamma function.

Patil and Rao presented a length biased Pareto (LP) distribution by concept of a weighted distribution. If X is Pareto random variable with pdf (1), then the pdf for the length biased distribution of random variable X is

$$g_{LP}(x) = \frac{(\alpha - 1)}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha}, \quad x \geq \beta; \alpha \geq 0, \beta \geq 0$$

but from now on we will be referring to: $g_{1P}(x)$ and

therefore, we will be using $\int_\beta^\infty K \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha+1} = 1$

$$\int_\beta^\infty K \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha+1} dx = K \frac{x \left(\frac{x}{\beta}\right)^{1-\alpha}}{2-\alpha} \Big|_\beta^\infty \Rightarrow K = \left(\frac{\beta}{\alpha-2}\right)^{-1}$$

On a more general note, where, (1) $\int g = 1$, we have:

$$\begin{aligned} \int g &= \int K x^\gamma \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha} = \int K x^{\gamma-\alpha} \beta^\alpha = \\ (2) \quad K \beta^\alpha \frac{x^{\gamma-\alpha+1}}{\gamma-\alpha+1} \Big|_\beta^\infty &= K \beta^\alpha \frac{\beta^{\gamma-\alpha+1}}{\gamma-\alpha-1} \end{aligned}$$

From (1) and (2) we denote that $K = \frac{\alpha - \gamma - 1}{\beta^{\gamma+1}}$.

Now we can move on and calculate some mathematical properties for instance the the r^{th} moment and the mgf of the LP distribution, respectively:

$$E_{LP}(X^r) = \frac{(\alpha-1)\beta^r}{\alpha-(r+1)}, \quad r=1,2,3,\dots; \alpha > r+1$$

will be calculated for $g_{1P} = \frac{\alpha-\gamma-1x^{\gamma-\alpha}}{\beta^{\gamma+\alpha+1}}$

and will become:

$$E_{LP}(X^r) = \frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\gamma+\alpha+1}} \int_{\beta}^{\infty} x^{\gamma-\alpha+r} dx = \frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\gamma+\alpha+1}}$$

$$\frac{x^{\gamma-\alpha+r+1}}{\gamma-\alpha+r+1} \Big|_{\beta}^{\infty} = \frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\gamma-\alpha+1}} \cdot \frac{\beta^{\gamma-\alpha+r+1}}{\alpha-\gamma-r-1},$$

$$\gamma-\alpha+r+1 < 0.$$

To resume:

$$E_{LP}(X^r) = \frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\gamma-\alpha+1}} \cdot \frac{\beta^{\gamma-\alpha+r+1}}{\alpha-\gamma-r-1}, \quad \gamma-\alpha+r+1 < 0$$

$$M_X(t)_{LP} = (\alpha-1)(-\beta t)^{(\alpha-1)} \Gamma(-(\alpha-1), -\beta t), \quad t < 0.$$

In our case,

$$M_X(t)_{1P} = M(e^{tx}) = \int_{\beta}^{\infty} e^{tx} \frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\alpha+\gamma+1}} x^{\gamma-\alpha} dx =$$

$$\frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\alpha+\gamma+1}} \int_{\beta}^{\infty} x^{\gamma-\alpha} e^{tx} dx =$$

$$\frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\alpha+\gamma+1}} (-t)^{\alpha-\gamma-1} \cdot \Gamma(\gamma-\alpha+1, -\beta t), \quad t < 0.$$

To resume:

$$M_X(t)_{1P} = \frac{\alpha-\gamma-1}{\beta^{\alpha+\gamma+1}} (-t)^{\alpha-\gamma-1} \cdot \Gamma(\gamma-\alpha+1, -\beta t), \quad t < 0.$$

Many attempts have been made to define new families of probability distributions that extend the well-known families of distributions and, at the same time provide flexibility in modeling data in practice. In the previous rows we made such an attempt. One such class of distributions generated from the two-component mixture model of a random variable which extends the original distribution with the length biased distribution provides powerful and popular tools for generating flexible distributions with attractive statistical and probabilistic properties.

This is the case of the original $g_{LP}(x)$, by McLachlan and Peel. Another one, proposed by Hall and Zhou refers to a nonparametric estimation for a mixture of two distributions in a multivariate mixture model. To complete, estimates of the mixing proportions, locations and variances for the components of a finite univariate

mixture model were introduced by Cruz-Medina and Hettmansperger. Assumptions of symmetric, different locations and parametric model are imposed on the components.

Furthermore, two real location parameters and the mixing proportion were presented by Bordes et al. Moreover, the problem of parameter estimation in finite mixtures is proposed by Hunter et al., when comparing their method with the method of maximum likelihood using normal components, their method when the components are heavy-tailed. In addition, Leiva et al. introduced a model that extends the inverse Gaussian distribution, their model is obtained when a parameter is incorporated into the logarithmic inverse Gaussian distribution producing great flexibility for non-negative data.

Several aspects of the mixture inverse Gaussian distribution that are useful for modeling positive data that the empirical fit of the mixture inverse Gaussian distributions to the data which is very good, were also introduced by Balakrishnan et al. Recently, Vandekerckhove introduced the mixture of regression models which are a generalization to the semiparametric two-component mixture model.

2. A new mixture Pareto distribution

In this section, we propose a new MP distribution and update it, which produces widely flexible models with good statistics. There are some special sub-models and some other types are displayed in this section

2.1 The probability density function and cumulative distribution function.

Definition:

Let $g_{1P}(x)$ and $g_{LP}(x)$ are the pdf and length biased pdf of the random variable X , respectively. If ω is a mixing parameter, $0 \leq \omega \leq 1$, then the weighted two-component mixture distribution produced by the mixture between $g_{1P}(x)$ and $g_{LP}(x)$ is being defined as:

$$f(x) = (1-\omega)g_{1P}(x) + \omega g_{LP}(x), \quad x > 0.$$

Theorem:

Let $X \sim MP(\alpha, \beta, \omega)$, then the pdf and cdf of random variable X , are, respectively,

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{-(\alpha+1)} \left[(1-\omega)\alpha + \frac{\omega(\alpha-1)x}{\beta} \right],$$

$$x \geq \beta; \alpha > 1, \beta > 0, 0 \leq \omega \leq 1,$$

which transforms into:

and the one found by Hunter, as specified in the comments section, from above,

$$F(x) = 1 - \omega \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-(\alpha-1)} - (1-\omega) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha},$$

which transforms into:

$$F(x) = 1 - (1-\omega) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha} - \omega \frac{(-\alpha + \gamma + 1)}{\beta(\gamma - \alpha + 1)} x^{\gamma - \alpha + 1}.$$

(*)

Let $F(x)$ denote the cdf of a random variable X . The cdf for a generalized class of distribution, as defined in the above Definition, is generated by applying the cdf to the MP random variable to obtain:

$$F(x) = (1-\omega)G_{LP}(x) + \omega G_{LP}(x)$$

hence, we write one more time $F(x)$ as:

$$\begin{aligned} F(x) &= (1-\omega) \left[1 - \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha} \right] + \omega \left[1 - \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-(\alpha-1)} \right] = \\ &= 1 - \omega - (1-\omega) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha} + \omega - \omega \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-(\alpha-1)} = \\ &= 1 - \omega \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-(\alpha-1)} - (1-\omega) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha} \end{aligned}$$

that again, can be rewritten according to the result (*). The MP distribution contains a large number of distributions.

In Figures 1 and 2, we present the pdf and cdf of it.

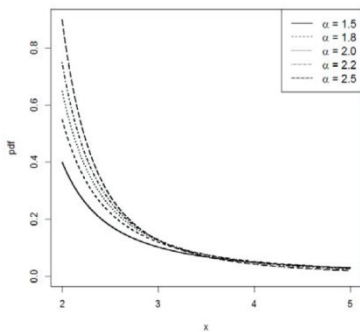


Figure 1. The pdf of the MP distribution, for different values of α where $\beta = 2$ and $\omega = 0.7$.

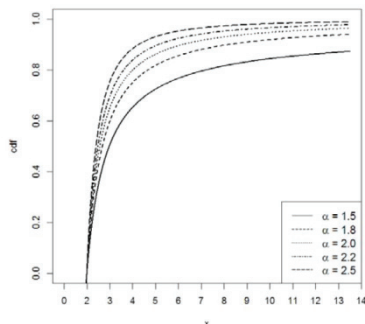


Figure 2. The cdf of the MP distribution, for different values of α where $\beta = 2$ and $\omega = 0.4$.

2.2 Other types

Just to mention two of them:

$$\text{Balakrishnan: } f(x) = \left\{ 1 - \omega \left[1 - \frac{x}{E(X)} \right] \right\} g(x);$$

(The Mixture distribution for the random variable X , as in the Definition, the pdf of the MP distribution that it is originated by.)

$$\text{Vandekerkhove: } h(x) = \frac{\alpha\beta + \omega(\alpha x - x - \alpha\beta)}{\beta x + \omega(x^2 - \beta x)};$$

(The hazard rate of the MP distribution can be expressed likewise.)

3. Conclusions

In this paper, we introduced a new two-component mixture distribution, so-called a mixture Pareto distribution and then, derived another case from it. We have derived the r^{th} moment property of the mixture Pareto distribution, and the moment generating function, we calculated the probability density function and the cumulative distribution function and plotted some values for pdf and cdf.

Afterwards, we mentioned two other examples of such distributions. We hope that the mixture Pareto distribution may attract wider application in lifetime data. Another research is based upon the parameter estimation using the Bayesian approach. In addition, a new mixture model between the beta and mixture Pareto distributions, will be developed.

References

- [1] Doostparast, M., and Balakrishnan, N., *Pareto Analysis Based on Records*, Statistics, 2013; 47: 1075-1089.
- [2] Nanuwong, N., Bodhisuwan, W., and Pudprommarat, C., *A New Mixture Pareto Distribution and Its Application*, Thailand Statistician, 2015; 13: 191-207.
- [3] Patil, G.P. and Rao, C.R., *Weighted Distributions and Size-Biased Sampling with Applications to Wildlife Populations and Human Families*, Biometrics, 1978; 34:179-189.
- [4] McLachlan, G. and Peel, D., *Finite Mixture Models*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [5] Hall, P. and Zhou, X., *Nonparametric Estimation of Component Distributions in a Multivariate Mixture*, The Annals of Statistics, 2003; 31: 201-224.
- [6] Cruz-Medina, I.R. and Hettmansperger, T.P., *Nonparametric Estimation in Semiparametric Univariate Mixture Models*, Journal of Statistical Computation and Simulation, 2004; 74: 513-524.

- [7] Bordes, L., Mottelet, S. and Vanderkerhove, P., *Semiparametric Estimation of a Two-Component Mixture Model*, The Annals of Statistics, 2006; 34: 1204-1232.
- [8] Leiva, V., Sanhueza, A., Silva, A. and Galea, M., *A New Three-Parameter Extension of the Inverse Gaussian Distribution*, Statistics and Probability Letters, 2008: 78: 1266-1273.
- [9] Balakrishnan, N., Leiva, V., Sanhueza, A. and Cabrera, E., *Mixture Inverse Gaussian Distributions and Its Transformations, Moments and Applications*, Statistics, 2009; 43: 91-104.
- [10] Vandekerkhove, P., *Estimation of a Semiparametric Mixture of Regression Model*, Journal of Nonparametric Statistics, 2013; 25: 181-2008.

УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ



ГРУПНА ТЕХНОЛОГИЈА - ПРЕДУСЛОВИ И ОГРАНИЧЕЊА ПРИМЕНЕ

GROUP TECHNOLOGY - PREREQUISITES AND RESTRICTIONS APPLYING

АНА Д. МИЉАВЕЦ
ana.miljavec@gmail.com

Резиме: *Предуслови за реализацију групне технологије су непрекидна производња (средње или велико-серијска) и спроведена стандардизација. Досадашњи увид у литературне изворе показује да се реализација групне технологије посматра само са технолошког аспекта. Искуство показује да често овај аспект није и довољан. Због тога када се разматра реализација групне технологије у реалним условима врло је важно и једно ограничење, а то је размештање процеса у времену. Под размештањем процеса у времену подразумева се редослед детаља по појединим машинама и почетак и завршетак рада на свакој технолошкој операцији. Зато је важно да се реализација групне технологије посматра како са технолошког тако и са организационог аспекта (размештај процеса у времену).*

Кључне речи: групна технологија, предуслови, ограничења

Summary: *Preconditions for implementation group technique we have continuous production (medium or large-serial) and implemented standardization. Former insight into the sources of literature shows that the realization of group technology observed only from a technological point of view. Experience shows that often respects this is not sufficient. Therefore, when considering the implementation of group technology in real conditions is very important and the one limitation, and that the deployment process in time. Under the deployment process in time means the order details by individual dealers and start and completion of work at each technological operation. It is therefore important that the implementation of group technology looks at how the technological and organizational aspect (layout comb in time).*

Keywords: group technology, preconditions and restriction

1. УВОД

Ситуација у преради дрвета данас је таква да клијенти постављају услове, тако да је производња, претежно, прекидна (појединачна и мало-серијска). То значи да се ради о тзв. пулл концепту производње. Он се суштински разликује од ранијег, преовлађавајућег, концепта производње када су се производи ”гурали” према тржишту (пушх концепт). Прекидна производња и кратка времена израде омогућавају врло кратке операционе и технолошке циклусе. Све то чини производне системе у преради дрвета изузетно динамичним и сложеним, посебно са аспекта управљања производњом [1]. Раније, када су производни системи били мање динамични, а ни сада, није се постављало питање да ли се, са технолошког аспекта, нешто зна произвести. Јасно, уз поштовање задатог квалитета. Данас се то подразумева и тежиште преноси на поштовање рокова и потребу екстремног снижавања трошкова. Ослобађајући производњу свих непотребних трошкова она постаје ”витка” или ”мршава”, тј. реализује се

тзв. леан манаџмент [2]. Некада су се проблеми у преради дрвета, углавном решавали набавком нове опреме или нове технологије што представља иновацију. Међутим, након раста производње, веома брзо почињу да се јављају проблеми који доводе до пада производње а са друге стране, трошкови прогресивно расту. Због тога је неопходно у континуитету мењати процедуре рада, уз уважавање постојећих ограничења. У јапанској пракси менаџмента то се дефинише као КАИЗЕН (стално напредовање) [3].

Важно је напоменути да при избору метода које ће бити коришћене за побољшања у производњи, увек треба кренути од идентификовања примењеног система производње. Примењени систем производње диктира избор метода рада.

2. ЗАДАТАК И МЕТОД РАДА

Поред низа организационих мера које постоје, у раду ће бити разматрана примена групног обликовања токова материјала на примеру производног система ЗОМОНТ Београд. Програм производње у овом производном систему може се поделити у две групе:

- Производња плочастих производа и израда ентеријера и
- Израда стандардизованих производа у оквиру тзв. Бох система.

ЗОМОНТ Бох система је нов систем технологије, израде и продаје корпусних елемената за опремање ентеријера који има следеће карактеристике и функционише на следећи начин: елементи су унапред израђени и каталогски систематизовани, путем каталога клијент врши одабир одређених елемената и димензија истих, систем омогућава визуелизацију елемената у тродимензионалном простору, одабир материјала и дезена [4].

Када је у питању **групно обликовање** токова материјала (предметно – технолошко извођење производних процеса), критеријум разврставања детаља у групе може бити двојак [5]:

- Истоветност технолошког поступка израде (типска технологија) и
- Истоветност коришћења обрадних центара (групна технологија).

Групна технологија тј. истоветност коришћења обрадних центара подразумева да ће се сви детаљи једне групе обрађивати на истом обрадном центру. За реализацију групне технологије постоје неки предуслови и ограничења.

Предуслови за реализацију групне технологије су:

- Непрекидна производња, средње или велико-серијска и
- Сprovedена стандардизација.

Ова два предуслова у производном систему ЗОМОНТ Београд су испуњена.

Ограничење за реализацију групне технологије је начин на који је извршено размештање процеса у времену. Под размештањем процеса у времену подразумева се редослед детаља по појединим машинама.

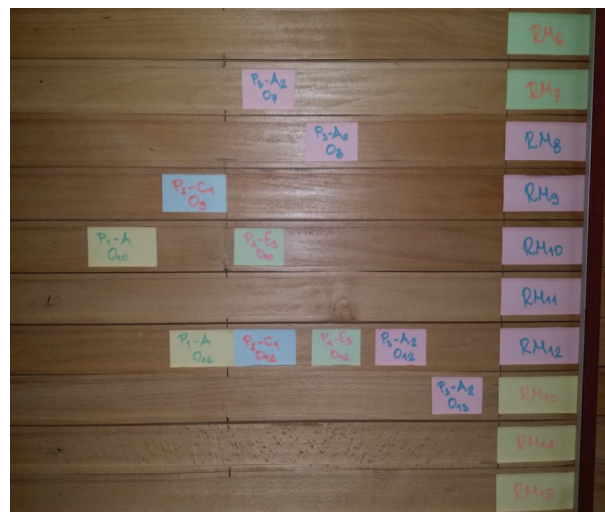
3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Израда стандардизованих производа помоћу Бох система у производном систему Зомонт изводи се на следећим машинама: хоризонтални кројач плоча, CNC (Nesting Weeke Vantage 28 M), Rover Biesse, праволинијска ласерска машина за фурнирање ивица, површинска обрада плоча.

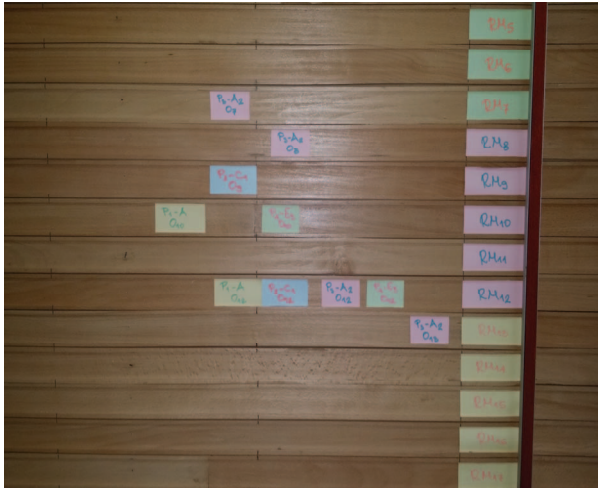
Анализом детаља производа Бох система закључено је да је *површина детаља* главни критеријум по којем треба започети филтрирање. Филтрирање према површини обезбеђује добијање свих детаља истих димензија. Ти детаљи припадају истој подгрупи. Следећи критеријум по којем се врши филтрирање јесте *схема бушења*. Сви детаљи који имају исту схему бушења групишу се и обрађују заједно. Критеријум филтрирања *врста траке* за облагање ивица мора истовремено да да одговор и о технолошком поступку облагања ивица.

Кроз примере из праксе биће приказано у ком случају је могућа (Сл.2), а у ком случају није могућа реализација групне технологије у потпуности (Сл.1). На Сл.1 дат је пример када постоји ограничење у редоследу и времену почетка и завршетка појединих технолошких операција што онемогућава реализацију концепта групне технологије у потпуности. На Сл.1 дат је приказ ситуације када померање извршења операција у времену код $P_3-A_2 \Rightarrow O_7$ и O_8 није могуће. То значи да се само детаљи P_1-A и P_2-C_1 на RM_{12} могу обрадити са истом подешеношћу машине. То подешавање ће морати да се понови после извршења операције O_{12} на P_4-E_3 .

На Сл.2 приказан је случај када не постоји ограничење у редоследу и времену почетка и завршетка појединих технолошких операција, што омогућава реализацију групне технологије у потпуности. То значи да је операцијама $P_3-A_2 \Rightarrow O_7$ и $P_3-A_2 \Rightarrow O_8$ могуће померити почетак и то раније него што је дато на Сл.1. То је омогућило да P_3-A_2 и P_4-E_3 промене термине почетка и завршетка операције O_{12} . На тај начин добијен је непрекинути низ детаља на којима се извршава операција O_{12} са истом подешеношћу машине, P_1-A , P_2-C_1 и P_3-A_2 .



Слика 1



Sika 2

4. ДИСКУСИЈА

Примена групне технологије омогућава: смањење трошкова технолошке припреме, увођење модерне производне опреме, одбацивање неоправдане разноврсности технолошких процеса унификацијом и груписањем, повећање ефикасности процеса обраде применом обрадних система веће производности, смањење $T_{пз}$, планирање процеса групне обраде, смањење времена технолошке припреме за сваки члан припреме, побољшање конструкције применом технолошког класификатора. Концепт групне технологије, омогућава значајну рационализацију пројектовања технолошких процеса израде, односно одговарајућих операција. Задатак овог рада је сагледавање могућности примене концепта групне технологије у реалним условима, односно у производном систему ЗОМОНТ. Због тога је важно нагласити да се групна технологија мора посматрати како са технолошког тако и са организационог аспекта. Коришћењем појединих метода из организације производње и уз уважавање ограничења која проистичу из размештаја процесу у времену, могу се остварити значајне уштеде у времену, материјалу, простору итд. Све то производни систем чини флексибилнијим и профитабилнијим. Поједини аутори посматрају групну технологију на различите начине па тако Шулетић [6] на основу истражених елемената даје пример практичне примене добијених резултата у развоју модела производње намештаја на бази групне технологије. Нешић, Шулетић, Ивковић [7] наводе да примена групне технологије у производњи намештаја доприноси развоју флексибилне производње, као савременом концепту производње намештаја. Митрофанов [8] наводи да је прелазак са индивидуалних технолошких процеса на метод групне обраде услов за ефикаснију производњу. Лукић [9] у оквиру анализе прилазу у развоју производа, акценат ставља на групном и типском прилазу пројектовања производа, пројектовања технолошких процеса и извођењу процеса производње.

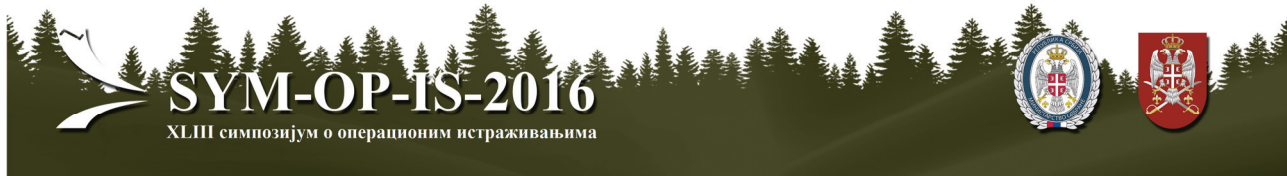
5. ЗАКЉУЧЦИ

Применом КАИЗЕН система и јапанске производне филозофије у дрвној индустрији тако и у осталим гранама индустрије доћи ће до константног напретка. Такође користећи поједине методе из организације производње, уз уважавање ограничења (размештаје процеса у времену) могу се остварити значајне уштеде у времену, материјалу, простору итд. Све ово производни систем чини флексибилнијим и профитабилнијим.

Међутим, важно је нагласити да је групна технологија у металној или било којој другој индустрији, али и у преради дрвета, анализирана искључиво са технолошког аспекта. Са организационог аспекта постоји једно *ограничење* у примени групне технологије. Ради се о размештању процеса у времену. Под размештањем процеса у времену подразумева се редослед детаља по појединим машинама и почетак и завршетак рада на свакој технолошкој операцији. То значи да је неопходно за плански период (месец дана или 15 дана или 10 дана или 5 дана и тд.) урадити *реалан* модел групне технологије.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Вукићевић, *Флексибилност производних система и припремно-завршно време*, Гласник Шумарског факултета бр. 93, Београд 2006.
- [2] Љ. Танасић, *Леан производња-Иновација за 21. вијек*, Зборник радова Економског факултета бр. 6, Универзитет у Источном Сарајеву 2012, (стр.307-322)
- [3] М. Имај, *КАИЗЕН-Кључ јапанског успеха*, Моно и Мањана, Београд 2008.
- [4] ЗОМОНТ Vox sistem (пропагандна публикација)
- [5] М. Вукићевић, *Организација производње*, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд 2011.
- [6] Р. Шулетић, *Истраживање елемената развоја и пројектовања технолошких процеса у индустрији намештаја*, Докторска дисертација Универзитет у Београду-Шумарски факултет, Београд 1988.
- [7] М. Нешић, Р. Шулетић, Б. Главоњић, Д. Ивковић, *Научни темељи групне технологије у индустрији намештаја*, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд 1995.
- [8] С. Митрофанов, *Научни темељи групне технологије*, Привреда, Загреб 1964.
- [9] Д. Лукић, *Технолошка припрема производње као функција производног и СИМ система*, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Сад, Нови Сад 2014.



УПОРЕДНА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ТОКА РЕДОСЛЕДА ОПЕРАЦИЈА НА ИСКОРИШЋЕНОСТ МАШИНСКИХ КАПАЦИТЕТА

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPACT OF SEQUENCE OF OPERATION ON UTILIZATION OF MACHINE CAPACITY

САЊА ПУЗОВИЋ

Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, sanja.puzovic@ftn.kg.ac.rs

ЈАСМИНА ВЕСИЋ ВАСОВИЋ

Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, jasmina.vesic@ftn.kg.ac.rs

МИРОСЛАВ РАДОЈИЧИЋ

Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, miroslav.radojicic@ftn.kg.ac.rs

ВЛАДАН ПАУНОВИЋ

Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, vladan.paunovic@ftn.kg.ac.rs

Резиме: У раду је приказана упоредна анализа утицаја паралелног и комбинованог типа тока операција на рационалност производних процеса у функцији времена и искоришћеност ангажованих производних машина. Произвођачи стално теже ка краћим роковима испоруке и нижим трошковима производње кроз скраћивање дужине производних циклуса и оптимизацију степена искоришћености ресурса ангажованих у производним процесима пре свега производних машина. Различити типови тока израде серије имају различит утицај на поменуте перформансе. Управо је то битан фактор који је неопходно анализирати у циљу рационализације производних процеса. Компаративна анализа је спроведена на примеру производног процеса за један од артикала који се производи у компанији а.д. „Слобода“ Чачак.

Кључне речи: производни циклус, ток редоследа технолошких операција, степен искоришћености машинских капацитета.

Abstract: This paper presents a comparative analysis of the impact of parallel and mixed flow type operations on rational production processes as a function of time and involved utilization of production machines. Manufacturers constantly seek to shorter delivery times and lower production costs by reducing the length of the production cycle and optimize the degree of utilization of resources involved in production processes primarily production machines. Different types of workflow series have different effects on the aforementioned performance. This is precisely the important factor which needs to be analyzed in order to rationalize the production process. The comparative analysis was conducted on the example of the production process for one of the products that are produced at the company a.d. "Sloboda" Cacak.

Keywords: production cycle, the flow sequence of technological operations, the level of machine capacity utilization.

1. УВОД

Суочене са све интензивнијим тржишним флукуацијама производне организације у први план свог пословања стављају задовољство корисника. Поједини аутори [1] истичу да се квалитет неке организације са аспекта купаца огледа у њеним способностима да испоручи квалитетан производ, са што нижом ценом и у оптималном времену. Тржишна неизвесност и оштра конкуренција наметнута све интензивнијим процесом глобализације у први план исичу краће рокове испоруке као кључно средство у борби за конкурентску превласт.

Са друге стране оптимална употреба људских потенцијала и материјалних ресурса ангажованих у процесу производње у великој мери детерминише перформансе производног предузећа. Управо је то један од главних изазова савремених произвођача: постићи оптималност производних процеса у функцији времена као битног фактора ефикасности уз рационално коришћење ангажованих материјалних ресурса и људских потенцијала кроз повећање степена искоришћености производних машина и продуктивности процеса производње. Овом проблематиком бави се све већи број аутора кроз своја теоријска и практична истраживања [2, 3, 4, 5].

Присутни су напори произвођача за успостављање оптималне експлоатације основних и обртних средстава

и ангажовања радника у процесу производње у функцији бољих организационих перформанси. Као битан алат у процесу оптимизације перформанси истиче се дужина производног циклуса, продуктивност рада и степен искоришћености производних капацитета.

У раду [6] развијен је приступ интеграције планираних капацитета у МПР који је присутан у свим сегментима процеса производње и гарантује да капацитети омогуће реализацију свих планова производње.

Способност неког производног предузећа да у одређеним временским оквирима произведе одређену количину производа је детерминисана производним капацитетима, али и нивоом њихове искоришћености и организованости. Производни капацитети се односе на способност људских ресурса, расположивих средстава за рад и организације рада, односно на комбинацију људских и материјалних ресурса организације [7]. Битан фактор у успостављању оптималне организације производње јесте и одабир адекватног типа редоследа операција. Предности које са собом носи паралелни тип тока редоследа технолошких операција у смислу скраћивања времена трајања производног циклуса доводе се у питање због застоја у производњи проузрокованих разликама у трајању операција.

Аутори [8] истичу проблем производних застоја као битног фактора неефикасности указујући на неке од могућности за њихову редукацију. Различити застоји утичу на нижу искоришћеност производних капацитета. Па је потребно наћи баланс између дужине производног циклуса и оптималне искоришћености производних капацитета.

Циљ рада је да се на основу резултата истраживања производног циклуса сложеног производа који се израђује у компанији „Слобода“ утврди дужина трајања производног циклуса и степена искоришћености производних капацитета при примени паралелног или комбинованог типа тока израде серије. Производ који је коришћен као пример се састоји из 14 позиција, за чију израду је неоподно реализовати већи број операција различитог карактера и времена трајања. За сваку од позиција извршен је прорачун трајања производног процеса при примени паралелног и комбинованог типа тока израде серије. Такође је извршен и прорачун искоришћености свих машина које се користе у производном процесу како при примени паралелног тако и при примени комбинованог типа.

2. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПАРАЛЕЛНОГ И КОМБИНОВАНОГ ТИПА ТОКА ИЗРАДЕ СЕРИЈЕ НА ДУЖИНУ ПРОИЗВОДНОГ ПРОЦЕСА И ИСКОРИШЋЕНОСТ ПРОИЗВОДНИХ МАШИНА

Јевтина и ефикасна производња која задовољава постављене стандарде квалитета представља посебан изазов за произвођаче. Одговор на овакав изазов произвођачи проналазе у оптимизацији производње, где као критеријум оптимизације доминира дужина производног циклуса. Време утрошено за производњу,

као необновљиви ресурс, свакако је мерило успешности у условима савременог пословања. Највиши степен синхорнизације радних процеса, самим тим и најкраћи производни циклус постиже се применом паралелног типа организовања операција. Међутим, главна несавршеност овог приступа произилази из разлика у трајању операција. То условљава застоје у раду унутар саме операције. Овакви застоји условљавају нижи степен искоришћености производних машина.

Треба нагласити да паралелни тип тока процеса захтева високу технолошку дисциплину и висок ниво синхронизације рада од стране технолошко-оперативне припреме. Мањи поремећаји на једном радном месту негативно се одражавају на нормалан рад осталих [7]. Прорачун трајања паралелног циклуса могућ је уз помоћ формуле:

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^m t_i + (q-1)t_{i\max} \quad (1)$$

Где је:

T_{cp} – укупно временско трајање паралелног циклуса,

t_i – време трајања i -те операције,

$t_{i\max}$ – време трајања најдуже операције,

q – број комада у серији.

Иако траје дуже од паралелног тока, комбиновани ток омогућава елиминисање застоја у раду машина и радника унутар самих операција, чиме се постиже већа искоришћеност како машина тако и радника ангажованих у процесу производње. Трајање циклуса при примени комбинованог типа рачуна се:

$$T_{ck} = \sum_{i=1}^n t_i + (\sum t_k - \sum t_j)(q-1) \quad (2)$$

Где је:

T_{ck} – укупно временско трајање комбинованог циклуса,

t_k – све операције чије време трајања задовољава услов: $t_{k-1}t_k \geq t_{k+1}$, $t_n(t_n > t_{n-1})$, $t_1(t_1 \geq t_2)$

t_j – све оне операције чије време трајања задовољава услов: $t_{j-1} \geq t_k < t_{j+1}$.

За поменути производ који је коришћен у процесу анализе извршен је прорачун трајања производних циклуса за сваку позицију за серију од 150 000 комада на основу детаљне анализе технолошког процеса. Производни процес се састоји из 14 позиција различитог времена трајања које су међусобно условљене и реализују се на различитим машинама. За сваку операцију су утврђени и међуоперацијски застоји који се јављају услед неравномерног трајања операција. У табели 1 су дати резултати прорачуна за производни циклус позиције „Кошуљица-отпресак“ која улази у састав посматраног производа.

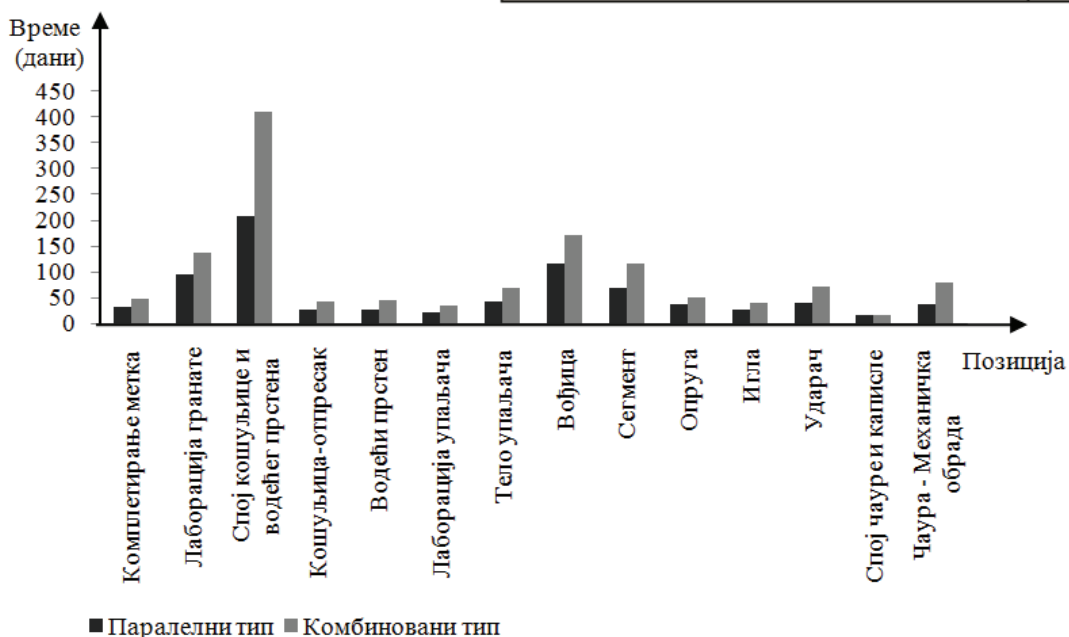
Добијени резултату упућују на то да се применом паралелног типа редоследа операција може постићи знатна уштеда у времену, будући да су производни циклуси свих позиција краћи у односу на примену комбинованог типа. Резултати овог дела истраживања дати су на Слици 1.

Табела 1: Прорачун трајања производног циклуса и међуоперацијских застоја за позицију Кошуљица-отпресак

НАЗИВ СКОПА	Стој кошуљице и водоћет прстена
НАЗИВ ПОЗИЦИЈЕ	КОШУЉИЦА (ОТПРЕСАК)
ШИФРА ПОЗИЦИЈЕ	102.441.01

ОПЕРАЦИЈА	МАШИНА - УРЕЂАЈ	БРОЈ РАДНИКА	ВРЕМЕ ИЗРАДЕ ПО КОМ. У сат	ЗАСТОЈИ ПО КОМ. У сат	УКУПНО ВРЕМЕ ПО КОМ. У сат	ПОТРЕБАН БРОЈ ПРОМОВ.	УКУПНО ВРЕМЕ У сат
1	Копирање	Кубински урђај БНК	57	0	57	15000	852000.00
2	Копирање	Принтерски БНК	59	7	57	15000	750000.00
3	Сеча с	Машини за сечење CADWY - 22	26	20	57	15000	420000.00
4	Исфрановање	Машини за сечење дрво	34	23	57	15000	510000.00
5	Исфрановање	Машини за сечење дрво	154	0	154	15000	2310000.00
6	Машини за сечење дрво	Електрични преси FORMMASTER 8024	83	71	154	15000	2145000.00
7	Исфрановање	Машини за сечење дрво	22	22	44	15000	660000.00
8	Исфрановање	Машини за сечење дрво	22	22	44	15000	660000.00
9	Готови делови	Овак	267	0	267	15000	4005000.00
10	Готови делови	Група	259	0	259	15000	3795000.00
11	Исфрановање	Група дрво	26	22	48	15000	720000.00
12	Исфрановање	Електрични преси	24	22	46	15000	690000.00

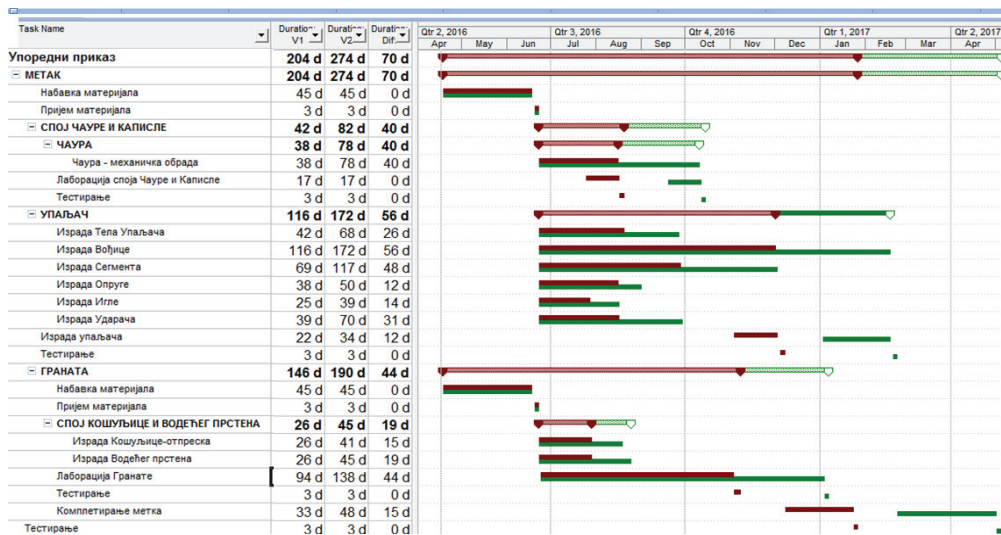
ПАРАЛЕЛНИ ТИП	УКУПНО ВРЕМЕ ЗА ОПЕРАЦИЈУ (сат)	37.500,759
	УКУПНО ВРЕМЕ ЗА ОПЕРАЦИЈУ (h)	37.500759
	УКУПНО ВРЕМЕ ЗА ОПЕРАЦИЈУ (dan)	25.00051
КОМБИНОВАНИ ТИП	УКУПНО ВРЕМЕ ЗА ОПЕРАЦИЈУ (сат)	60.150,574
	УКУПНО ВРЕМЕ ЗА ОПЕРАЦИЈУ (h)	60.150574
	УКУПНО ВРЕМЕ ЗА ОПЕРАЦИЈУ (dan)	40.10038



Слика 1: Разлике у трајању производних процеса позиција при примени паралелног и комбинованог типа

За анализирани производни процес је извршено прецизно терминирање при примени паралелног и комбинованог типа што је представљено упоредним гантограмом за ова два типа (Слика 3). Терминирање је извршено уз уважавање природе технолошког процеса, условљености међу операцијама и њиховог трајања. Поред процеса израде 14 позиција што представља производне операције у производни процес су укључене и непроизводне активности Наручивање и пријем материјала и Тестирање чије је трајање детерми-

нисано, углавном организационим факторима. Реализација паралелног циклуса могућа је за 204 дана, док је реализација комбинованог типа могућа за 274 дана. Закључујемо да је паралелни тип ефикаснији будући да остварује уштеду у времену у трајању од 70 дана што са собом повлачи низ позитивних ефеката (краћи ток предмета рада кроз производни процес, већу ефикасност, ниже трошкове...).



Слика 2: Упоредни гантограм за паралелни и комбиновани тип тока израде серије

Еминентна је знатна уштеда у времену применом паралелног типа, међутим поставља се питање оправданости примене овог типа тока израде серије уколико се као критеријум рационализације производних процеса уважи степен искоришћености финансијских ресурса ангажованих у производним машинама. Чести застоји у производњи са собом повлаче и нижи степен искоришћености производних капацитета. Ниска искоришћеност појединих машина ангажованих на оним операцијама код којих се јавља знатна неусаглашеност у трајању у односу на претходне и наредне операције може представљати знатан проблем у производњи у смислу нерационалности у коришћењу ангажованих ресурса што негативно утиче на трошкове, па је утицај различитих типова тока израде серије на степен искоришћености капацитета важан фактор који треба разматрати у циљу рационализације производних процеса. За сваку од коришћених машина у производном процесу је дефинисан дневни капацитет уколико се операције организују према комбинованом принципу без застоја у раду, за сваку операцију прорачунати међуоперацијски застоји који постоје у па-

ралелним циклусима као и ниво искоришћености капацитета лимитиран тим застојима.

На Слици 3. дат је и графички приказ добијених резултата. Приметно је да је искоришћеност скоро сваке од 38 машина које се користе у производном процесу знатно нижи при примени паралелног типа у односу на комбиновани. То је поготово изражено код машина M16, M17, M19, M20 и M30. Што указује да су ове машине ангажоване у изради позиција са израженом неусаглашености у трајању операција. Застоји који се појављују у реализацији операција на којима су ове машине ангажоване износе 1922 временске јединице за машину M16 чија је искоришћеност критичних 7%, затим 1870 временских јединица за машину M17 са степеном искоришћености капацитета 10%. Машина M19 има искоришћеност на нивоу од свега 16%, застоји који се јављају износе 1730 временских јединица, слично је и са машином M20 са искоришћеношћу од 5% и застојима од 1966 временских јединица што је знатно дуже од трајања операције која се на њој реализује што указује на неусаглашеност у трајању претходне и посматране операције.



Слика 3: Степен искоришћености капацитета производних машина коришћених у производном процесу при примени паралелног и комбинованог типа

3. ЗАКЉУЧАК

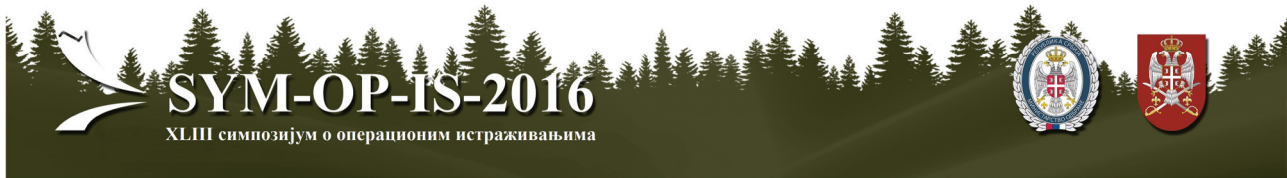
Као могуће решење поменутих проблема намеће се ангажовање додатних машина при реализацији операција са најдужим временом трајања под претпоставком економске

исплативости таквих мера. Добijени резултати доводе у питање потпуну оправданост паралелног типа и поред знатно краћих производних циклуса будући да је искоришћеност појединих производних машина при примени овог типа на неприхватљиво ниском нивоу.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Каплан, Р. С., Нортон, Д. П., Уравноотежена таблица резултата, МАТЕ, Загреб, 2010.
- [2] Radojicic, M., Nestic, Z., Vesic Vasovic, J., Relationship between capacity measurement and productivity, *Metalurgia International*, 2012, 17(6), 151-156.
- [3] Galante, G., Passannanti, G., Minimizing the cycle time in serial manufacturing systems with multiple dual-gripper robots. *International Journal of Production Research*, 2006, 44(4), 639-652.
- [4] Wang, X., Li, D., O'Brien, C., Li, Y., A production planning model to reduce risk and improve operations management, *International Journal of Production Economics*, 2010, 124(2), 463-474.
- [5] Agrawal, A., Minis, I., Nagi, R., Cycle time reduction by improved MRP-based production planning, *International Journal of Production Research*, 2000, 38(18), 4823-4841.
- [6] Jodlbauer, H., Reitner, S., Material and capacity requirements planning with dynamic lead times, *International Journal of Production Research*, 2012, 50(16), 4477-4492.
- [7] Радојичић, М., Менаџмент производњом, Технички факултет Чачак, 2007.
- [8] Radojicic, M., Nestic, Z., Vesic Vasovic, J., Production Delays and Possibilities for Their Reduction, *Metalurgia International*, 2012, 17(7), 140-1

УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ



ВАНРЕДНЕ СИТУАЦИЈЕ У 2014. - ОДГОВОРНОСТ ЈЕДИНИЦА ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ

EMERGENCY SITUATIONS IN 2014 – THE RESPONSIBILITY OF LOCAL SELF-GOVERNMENT UNITS

БРАНКО БАБИЋ

Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, babic@vtsns.edu.rs

НЕНАД КОВАЧЕВИЋ

Универзитет одбране/Војна академија, Павла Јуришића Штурма број 33., 11000 Београд,
Република Србија, www.inz.84kula@gmail.com

Резиме: Може се са сигурношћу рећи, да је 2014. година, година ванредних ситуација у Републици Србији. Проглашаване су за целу територију Р.Србије или за део територије на нивоу локалне самоуправе (неисправност воде за пиће, орканска кошава, снег и снежни наноси - сметови, лед, ниске температуре, град, клизишта, аерозагађења од пожара, поплаве, најезде комараца...). Показале су грађанима Србије, а посебно субјектима одбране, да систем заштите и спасавања још не функционише, да није формиран посебно у делу који се односи на снаге система (посебно јединица локалне самоуправе), њихову обученост и оспособљеност, пре свега за превентивно деловање у циљу смањења ризика. Рад даје преглед ванредних ситуација у Р.Србији у 2014. години, указује на пропусте и слабости субјеката система цивилне одбране, посебно јединица локалне самоуправе и предузимање превентивних мера да се ниво ризика по становништво, материјална и културна добра, животну средину сведе на најмању могућу меру.

Кључне речи: ванредне ситуације, субјекти цивилне одбране, ризик

Abstract: It can be safely said that 2014 was the year of emergency situations in the Republic of Serbia. They were pronounced either for the entire territory of the country, or just on the level of local self-government (contaminated drinking water, hurricanes, snow and show drift, ice, low temperatures, landslides, air pollution caused by fires, floods, invasion of mosquitoes, etc.). They proved, both to the citizens of Serbia and especially to the subjects of defense, that the protection and rescue system is not yet functioning and formed, especially the part regarding the forces of the system (primarily the local self-government units), their training and ability for, most importantly, preventive actions designed to minimize the risks. The paper presents an overview of the emergency situations in the Republic of Serbia in 2014 and points out the shortcomings and weaknesses of the civil defense system's subjects, especially the local self-government units, and the lack of applying preventive measures that are meant to lower the risks to people, material and cultural goods and the environment as much as possible.

Keywords: emergency situations, civil defense subjects, risk

1. УВОД

Ванредне ситуације током 2014. године, па и 2016. године, показале су колико је још увек рањив систем заштите и спасавања Р.Србије. Посебно су до изражаја дошле слабости у области нормативне уредјености појединих делова система (посебно у сфери превентивног деловања и у области смањења ризика), слабости код субјеката цивилне одбране, нарочито јединица локалне самоуправе и њене неприпремљености за превентивно деловање а затим и на отклањању последица елементарних непогода. Показале су, да после шест година од почетка формирања интегрисаног система заштите и спасавања, нисмо далеко стигли и да прописано не спроводимо у пракси. Свакако да би последице и штете ванредних ситуација биле мање да је

систем формиран и да сваки субјект система извршава планиране обавезе и задатке. То се посебно односи на јединице локалне самоуправе, њене снаге, средства и превентивне мере.

2. ВАНРЕДНА СИТУАЦИЈА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ 2014. ГОДИНЕ

У Републици Србији Влада Р.Србије је у мају 2014. године прогласила ванредну ситуацију на целој територији због високих вода и поплава, док су локалне самоуправе на својој територији прогласиле 11 ванредних ситуација због елементарних непогода и других несрећа.

2.1. Ванредна ситуација у Србији због поплава у мају 2014. године

Влада Србије је 15. маја прогласила ванредну ситуацију на целој територији Србије како би се искористили ресурси из читаве земље и упутили на угрожена подручја. Највећи део МУП-а укључио се у процес одбране од поплава, просечно дневно ангажовао је око 7.300 припадника. Министарство одбране ангажовало је 10.949 припадника министарства и Војске Србије, а Војска је евакуисала 10.299 особа копненим и ваздушним путем, док је у војним објектима смештено око 2.500 евакуисаних лица. Припадници Војске Србије и министарства одбране били су ангажовани и на збрињавању евакуисаних лица, изградњи насипа, постављању мостних прелаза, чишћењу, санацији клизишта, водоснабдевању... Ово показује да су снаге и средства јединица локалне самоуправе мало коришћена, да их у већини градова/општина није ни било, и да је становништво остало препуштено само себи, да се спасава како уме и зна.

2.2. Ванредне ситуације у појединим градовима/општинама Р.Србије 2014. године

2.2.1. Ужице, 6.1. - ванредна ситуација због *неисправне воде* за пиће - на предлог Штаба за ванредне ситуације (у даљем тексту: ШВрСи) градоначелник Ужица донео је одлуку о проглашењу ВрСи на делу територије града који се снабдева водом са акумулације Врутци, због опасности по систем водоснабдевања града Ужица. У граду је забрана коришћења воде за пиће и припремање хране од 26.децембра 2013. У циљу успостављања редовног снабдевања и спречавања настанка тежих последица по систем водоснабдевања потребно је предузети хитне мере на санацији постојећег градског водовода у делу постројења и обезбеђивања алтернативних извора снабдевања, као и на санацији језера Врутци. Као решење проблема, урађен је крак цевовода од један и по километар којим ће се спојити водовод у Чајетини са ужичким водоводом. Ужице ће добити пијаћу воду протока 400 литара у секунди. На радовима је ангажована Војска Србије, као најодговорнија организација, јер ни једно градјевинско или друго предузеће није било способно да изврши изградњу водовода у кратком времену.

2.2.2. Територија АП Војводина - 30.01.- 5.2. 2014. - *орканска кошава, снег и снежни наноси-метови*: завејани путеви, на 1000 људи блокирано на путевима; прекид рада школа; колона од око 300 камиона четири дана стајала на аутопуту Суботица-Нови Сад, због великих снежних наноса код места Жедник; зимске службе тек су трећи дан почеле да рашчишћавају пут, када је стигла и помоћ Црвеног крста; на граничном прелазу Хоргош се налазио велики број камиона који су чекали на улазак у Србију; железнички саобраћај на прузи Панчево - Вршац у прекиду због изузетних сметова и снежних наноса који су завејали две дизел локомотиве између Банатског Новог Села и Владимировца. Наноси снега на појединим местима

на овој деоници пруге су четири, пет, па и шест метара висине.

2.2.3. Противградна заштита и поплаве у априлу од 18.-21.- Краљево, Куршумлија, Зајечар, Житорађа... ВрСи у 11 општина- Председник Владе је изразио незадовољство тиме што се понављају ситуације о угроженим подручјима од поплаве из 2011. године, јер су сада опет попутно иста подручја поново угрожена, што, како је навео, *“говори о небризи локалне самоуправе о стању заштите водотокова на својој територији”*. Србија би до почетка сезоне одбране од града, 15. априла, требало да располаже са око 8.000 противградних ракета, што је три пута мање од оптималних годишњих потреба од 25.000 ракета. За нормално функционисање система противградне заштите у Србији је потребно између седам и осам милиона евра годишње, што није велика сума, имајући у виду да се само прошлогодишња штета од града процењује на око 50 милиона евра.

2.2.4. Клизиишта - сваког пролећа у Србији иста прича. Отопи се снег, падне велика киша, а после бујица активирају се клизишта. Штета се мери десетинама милијарди динара сваке године. И стално се држава бави последицама, а не узроцима. Србија може да санира сва клизишта, која угрожавају безбедност грађана и инфраструктурна здања, новцем којим у пет година плати отклањање последица, процена је Саобраћајног института ЦИП.

2.2.5. Олујне кише, циклони, град - јун-јул 2014. - Топола, Аранђеловац, Врање, Београд, Ниш, западна Србије, Краљево, Врњачка Бања, Крушевац, Куршумлија, Срем.

2.2.6. Ванредна ситуација због комараца у Ковину и Панчеву - јул – акција третирања комараца из ваздуха, са земље и ларви, је почела још у мају месецу у Сремској Митровици и Шапцу због претеће епидемиолошке ситуације, дезинсекција је била неопходна у што краћем временском периоду у циљу заштите здравља становништва од заразних болести. Штабови за ВрСи су обавештавали све надлежне службе да је неопходно спровести и мере систематске дератизације, због присуства већег броја глодара, преносилаца лептоспирозе, поготово што су плављена подручја са којих се повукла вода, идеална места за опстанак узрочника болести, бактерије лептоспире. Нажалост постоје општине у Војводини које нису планирале средства у буџету за третман комараца иако је код њих ситуација катастрофална, *“комарци лете у ројевима који заклањају поглед”*. Овако висок број комараца није забележен дужи низ година, а ситуација је алармантна на подручју целе Војводине. Цела земља се борила са комарцима, али у Ковину је било најгоре - тамо је Штаб за ВрСи донео одлуку о проглашењу ванредне ситуације због најезде комараца и потенцијалне епидемије од болести западног Нила. По речима одговорних из локалне самоуправе *“ако неко ужива у оваквим променљивим временским приликама, то су сигурно комарци. Они се тренутно налазе у рају, док Србија никако не може да их се отресе, јер су постали имуни на разне отрове”*. Градоначелник Панчева 7.

јула је прогласио ВрСи у због ефикаснијег уништавања комараца који преносе грозницу западног Нила. Популација комараца се у Панчеву креће од 200 јединки до више од 1.500 по клопци, а пожељан број је до 150. У Панчеву није било оболелих од грознице западног Нила, мада је цео Јужни Банат 2013. године био по броју заражених одмах иза Београда.

2.2.7. Ћуприја - јул - због аерозагађења од пожара, који је 10 дана тињао на старој депонији смећа, Штаб за ванредне ситуације у Ћуприји прогласио је ванредну ситуацију у селима Супска, Влашка, Крушар, Исаково, Иванковац, Паљане и Добричево. Пожар на некадашњој депонији је локализован и спречено је ширење ватре, али опасност за околна села представља дим. Штаб је саопштио *“Имамо прелиминарне резултате о количини и саставу дима на депонији, а дали смо налог да се ураде и анализе ваздуха у околним селима. Пожар на депонији је специфичан и може да се угаси само песком и земљом, што ни мало није лако”*.

2.2.8. Ужице - јул - због проблема са нијањом водом, уведена ванредна ситуација у Ужицу. На акумулацији у Врутцима поново цветају алге, због чега се проверава да ли је вода из Врутака продрла у водосистем Ужица. Сличан проблем Ужичани су имали и почетком године, када су се алге појавиле у акумулацији Врутци, а проблем је решен алтернативним цевоводом са Сушичких врела.

2.2.9. Нестабилно време и јаке падавине у Србији причиниле су материјалну штету и плављење стамбених објеката. Ванредна ситуација проглашена у Пожаревцу, Медвеђи, Тополи, Сокобањи и Бољевцу **01. августа**. Испаљено је преко 200 противградних ракета, евакуисано је 24 лица, док је шест спасено. Пожаревац су после мајских поплава поново задесиле непогода током којих је град имао пуно проблема.

2.2.10. Косјерић - август- због штете коју је нанело *невреме* у косјерићким селима Сеча река и Годечево проглашена је ВрСи. Вода је продрла у куће, њиве су потопљене, а бујични потоци и реке однели су десетине некатегорисаних путева.

2.2.11. Ванредна ситуација због поплава на територији општина Кладово, Неготин и Мајданпек - 15. септембар 2014. На подручјима општина Неготин, Кладово и Мајданпек, проглашене су ванредне ситуације због обилних падавина, изливања Бољетинске и Подвршке реке, покретања клизишта, а у брдским пределима и до одрона. Нанета је велика штета мештанима села у овим општинама. На територији Кладова, услед појаве бујичних потока, угрожено је 15 сеоских месних заједница. Срушен је мост у селу Милутиновац, а путни правац Кладово-Доњи Милановац је у прекиду. Насеље Текија је одсечено од Кладова. Село Подвршка са двадесетак становника неприступачно је услед клизишта. Једно домаћинство у Малој Врбици је угрожено. Без струје су МЗ Подвршка, Петрово село, Доњи кључ, Вајуга, Милутиновац, Корбово, Ртково, Велика Врбица. Фиксна телефонија, а делимично и мобилна мрежа, су у прекиду. **Кладово је од 15.09.** одсечено од света, јер су обилне падавине проузроковале бујице које су са обронка планине Мироч

срушиле два моста која из Неготина воде ка овом граду. Због рушења мостова, али и чињенице да се с друге стране Текије урушило брдо, и становници овог места такође су изоловани од света. Последице невремена у **Текији** су веома озбиљне. Бујице су однеле мостове, нанеле муљ и почупале дрвеће. у насељу нема воде, струје, ни мобилног сигнала; деведесет посто стамбених зграда затрпано је блатом и стаблима које је нанела бујица. На брду изнад Текије и даље ради јако клизиште које ствара додатне проблеме посебно мештанима који нису желели да се евакуишу.

3. ЗАКЉУЧАК

Наведене ванредне ситуације на целој/делу територије Р.Србије током 2014. године су показале да мора постојати боља припрема субјеката одбране, посебно у превентивном деловању, а затим и на санацији последица елементарних непогода и несрећа. Доследним спровођењем обавеза које дефинише Устав Р.Србије, Закон о локалној самоуправи и Закон о ванредним ситуацијама, субјекти одбране би могли спречити катастрофалне последице појединих елементарних непогода и побољшати степен безбедности својих грађана, материјалних/културних добара и животне средине. Да ли су последице ванредних ситуација могле бити мање? Да свакако, да је формиран интегрисани систем заштите и спасавања. За сада функционише само Војска Србије и Сектор за ванредне ситуације МУП-а. Остали субјекти цивилне одбране - јединице локалне самоуправе и привредна друштва и друга правна лица **не**, а у томе лежи највећа снага система цивилне одбране, у јединицама ЦЗ и обученим повереницима/заменицима повереника ЦЗ и у самим грађанима по месту становања и месту рада.

Природа је непредвидива, мења ћуди, може да изненади на сваком кораку, али то не даје право ником у Р.Србији, ко се бави ванредним ситуацијама, да спава, буде неприпремљен, необучен, неспособан да не делује када је најпотребније. Одговорним лицима из локалне самоуправе која су неспособна да то схвате, није место у систему заштите и спасавања Р.Србије. То место треба да уступе способнијим који су спремни да све учине за своје грађане и учине их безбеднијим и спокојнијим. То не би требало да буде последња обавеза председника и градоначелника, да заштите своје бираче - грађане од свих врста елементарних непогода и других несрећа.

Да би јединице локалне самоуправе могле предузимати и спроводити уставне и законске обавезе у области превентивног деловања, старања о животnoj средини, доносити програме коришћења и заштите природних вредности и програме заштите животне средине, **организовати заштиту од елементарних и других већих непогода**, заштиту од пожара и стварати услове за њихово отклањање, односно ублажавање њихових последица, неопходно је, пре свега, познавати нормативна документа која дефинишу област заштите становништва од ризика. Неприпремљеност и низак ниво капацитета локалне самоуправе, неадекватна стручна квалификованост и технолошка дисциплина расположивих људских ресурса, као и недостатак специјали-

зованих кадрова, nedovoljna obuchenost profesionalnog kadra i nerazvijena kultura prevencije ukazuju da je pripremljenost opština na veoma niskom nivou. Problemi su mnogobrojni zbog neodgovarajuće organizacije i sprovođenja, pre svega, preventivnih mera. Zakon o vanrednim situacijama jasno je definisao obaveze opština u sistemu zaštite i spasavanja dodeľujući im vrlo zahtevne zadatke, koje oni do sada nisu sa uspehom izvršavali. Na to nas podsećaju vanredne situacije u proteklih 6 godina, posebno iz maja 2014. godine i marta 2016. godine.

Da bi sa uspehom upravľali rizicima nadležne službe u opštinama, pre svega, moraju doneti odluku o organizaciji i funkcionisanju ЦЗ; doneti plan i program razvoja sistema zaštite i spasavanja (u daljem tekstu: ZiC) u skladu sa Dugorocnim planom razvoja ZiC Р. Србије; планирати и утврдити изворе финансирања; образовати Штаб за ВрСи, doneti poslovnik o radu kao i godišnji plan rada štaba; одредити оспособљена правна лица која су значајна за ZiC; изградити и doneti Procenu ugroženosti i Plan ZiC u ВрСи; пратити опасности, обавештавати становништво о опасностима и предузимати друге превентивне мере за смањење ризика од елементарних непогода и других несрећа; набавити и одржавази средства за узбуњивање; организовати, развијати и водити личну и колективну заштиту; формирати, организовати и опремати јединице ЦЗ опште намене. Лица која раде на пословима заштите и спасавања (а има их јако мало) морају, по Закону о ВрСи, имати положени стручни испит и лиценцу за процену ризика (С.Гласник РС, бр.8/13) и у свом раду користити и следећа подзаконска акта: Уредбу о садржају и начину израде планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама (С.Гласник РС, бр.8-11); Упутство о методологији за израду процене уgroženosti и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама (С.Гласник РС, бр.96-12); Правилник о начину израде и садржају плана заштите од удеса (С.Гласник РС, бр.82-12); Правилник о врстама и количинама опасних материја (С.Гласник РС, бр.8-13); Правилник о обучавању, НПП и нормативима наставних средстава и опреме за обучавање припадника ЦЗ (С.Гласник РС, бр 8-13); Правилник о садржају и начину вођења евиденције о припадницима органа, јединица, служби и другим учесницима и о средствима и опреми у цивилној заштити (С.Гласник РС, бр. 91-13).

У периоду од 2013. године, у оквиру студијског програма Цивилна заштита и спасавање у ванредним ситуацијама, рађено је истраживање припремљености локалне самоуправе за деловање у ризицима. Део резултата је презентован на SYMOPIS 2014. године. Овде треба само истаћи један податак. Основну популацију су представљале 168 општина и градова у Р. Србији. Узорак истраживања је био из 107 општина/градова (63,7%), које су по територијалној подели, равномерно заступљени. У току истраживања надлежним органима општина/градова су послати званични захтеви за доступност информација које дефинишу предметну област заштите и спасавања, коришћени су званични сајтови градова/општина, као и службени листови за период од 2010.- 2014. године, а део података

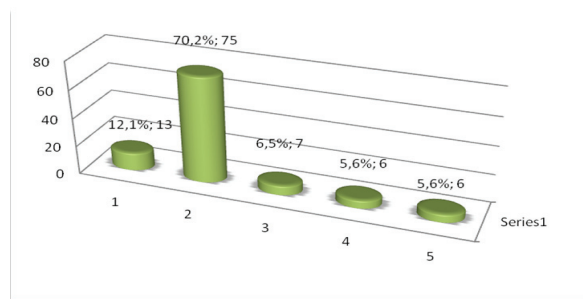
је прикупљен личним контактом у седишту општине/града. За потребе рада извршена је анализа за шест основних докумената на основу којих општина/град заснива свој рад и деловање, посебно у смањењу ризика по своје становништво од елементарних непогода. Резултати су приказани у табели 1 и графикону 1.

Табела 1: Начин прикупљања података-докумената у општинама/градовима

Документ	Недоступни подаци	Укупно градова/општина Доступни подаци
Одлука о организацији и функционисању ЦЗ	6 5,6%	101 94,4%
Одлука о образовању штаба за ВрСи	15 14%	92 86%
Годишњи план рада штаба за ВрСи	14 13,1%	93 86,9%
Пословник о раду штаба за ВрСи	21 19,6%	86 80,4%
Одлука о одређивању овлашћених и оспособљених правних лица за ZiC	16 14,9%	91 85,1%
Одлука о образовању јединица ЦЗ опште намене	14 13,1%	93 86,9%

Извор: аутор

Одлука о организацији и функционисању ЦЗ на територији града/општине је донета у 94,4% (подаци приказани у табели 1, графикон 1). Већина података је пронађена на сајту општина/градова преко званичних презентација. Зависно од општине до општине, Одлуке у себи садрже податке о начину како је општина предвидела - планирала да се супростави евентуалној ванредној ситуацији. Увидом у документа уочено је да су поједине општине у оквиру одлуке дефинисали и овлашћена и оспособљена правна лица и јединице ЦЗ, док су друге општине формирале засебна документа. Обе одлуке су свакако исправне. За 6 општина није пронађена одлука, што не значи да није донета, али није учињена доступна јавности. Ови подаци су као такви неупотребљиви, јер се снаге заштите и спасавања нису формирале у 99% општина /градова и нису би ле спремне да се супроставе елементарним непогодама, него су тражили помоћ од Владе Р. Србије.



Графикон 1: извор аутор

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Устав Републике Србије, „Службени гласник Р. Србије“, бр. 98/2006
- [2] Национална стратегија заштите и спасавања у ванредним ситуацијама “Сл. гласник РС” бр. 86/2011
- [3] Стратегија националне безбедности Републике Србије, „Службени гласник Р.Србије“, број 88/09
- [4] Стратегија одбране Р. Србије, „Службени гласник Р.Србије“, број 88/09
- [5] Закон о ванредним ситуацијама са изменама и допунама, “Сл. гласник РС”, бр. 111/2009, 92/2011 и 93/2012.
- [6] Закон о водама, “Сл. гласник РС”, бр. 30/2010 и 93/2012)
- [7] Закон о безбедности и здрављу на раду, „Службени гласник Р. Србије“ број 101/2005 од 21.11.2005
- [8] Закон о заштити од пожара, „Службени гласник Р. Србије“, бр. 111/2009 од 29.12.2009
- [9] Закон о одбрани Републике Србије, „Службени гласник Р. Србије“, бр. 116/2007
- [10] Закон о заштити животне средине, „Службени гласник Р. Србије“, број 135/2004, 36/2009, и 72/2009
- [11] Правилник о начину израде и садржају плана заштите од удеса, "Сл. гласник РС", бр. 82/2012
- [12] Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама, "Сл. гласник РС", бр. 96/2012
- [13] Вујаклија, М., Лексикон страних речи и израза, Просвета, Београд, 1961

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА
АНАЛИЗА
И ОПТИМИЗАЦИЈА



ФАЗИ АХП ПРИСТУП РАНГИРАЊУ ПРОЦЕЊИВАЧА ЗА ПРОЦЕНУ ПЕРФОРМАНСИ ВОЗАЧА ВОЈНИХ МОТОРНИХ ВОЗИЛА

FUZZY AHP APPROACH TO RANKING ASSESSORS FOR EVALUATING MILITARY MOTOR VEHICLES DRIVERS' PERFORMANCE

БЕСКО ЛУКОВАЦ

Универзитет одбране, Војна академија, lukovacvesko@yahoo.com

БОБАН ЂОРОВИЋ

Универзитет одбране, Војна академија, lukema@ptt.rs

МИЛЕНА ВУКИЋ

Средња угоститељско–туристичка школа, Београд, milena.vukic12@gmail.com

Резиме: У раду је приказан случај групног одлучивања са потпуном информацијом. Познати метод за подршку одлучивању, Аналитички хијерархијски процес (АХП), индивидуално је коришћен у свом фази облику од стране двадесет учесника за решавање истог проблема: рангирања потенцијалних процењивача за процену перформанси возача војних моторних возила. Синтеза појединачних фази вредновања извршена је накнадно методом аритметичког тежинског осредњавања (Weight Arithmetic Mean Method–WAMM).

Кључне речи: фази АХП приступ, процењивачи, процена перформанси, возачи војних моторних возила

Abstract: The paper presented the case of group decision making getting complete information. Best known method for decision making support - Analytical Hierarchy Process (AHP) was individual used in his fuzzy form by twenty participants to solve the same problem: ranking potential assessors for evaluating military motor vehicles drivers' performance. Synthesis of single fuzzy evaluation was performed using Weight Arithmetic Mean Method–WAMM.

Keywords: Fuzzy AHP method, assessors, performance evaluation process, drivers of military motor vehicles.

1. УВОД

Описивање неизвесних и непрецизних вредности помоћу лингвистичких исказа од стране доносилаца одлука ближе је људском начину размишљања. У литератури постоје бројне математичке теорије којима се лингвистички искази довољно добро квантитативно описују, а такве су теорија вероватноће, теорија фази скупова, теорија грубих скупова и др. Zimmermann сматра да је моделовање лингвистичких исказа најприкладније извршити применом теорије фази скупова [1]. У овом раду, све неизвесности описане су лингвистичким варијаблама које су моделоване троугаоним фази бројевима (ТФБ). Решење разматраног проблема рангирања потенцијалних процењивача за процену перформанси возача војних моторних возила добијено је помоћу фази Аналитичког хијерархијског процеса (ФАХП) на групном нивоу. Експертску групу су сачињавала двадесеторица официра саобраћајне службе Војске Србије (ВС) којима је процена перформанси непосредних извршилаца–возача била једна од обавеза која је проистацала из функционалне

дужности коју су обављали. ФАХП који је примењен у овом раду узима у обзир степен неизвесности, тј., превазилази оштру класификација лингвистичких варијабли на Сатијевој скали.

2. ОСНОВНА ПРАВИЛА ФАЗИ АРИТМЕТИКЕ СА ТРОУГАОНИМ ФАЗИ БРОЈЕВИМА

У литератури је најзаступљенија примена троугаоних и трапезоидних фази бројева за моделовање било које врсте неизвесности. Коришћење ових фази бројева не захтева сложена математичка израчунавања, а, с друге стране, тачност добијених резултата је сасвим задовољавајућа. Према неким ауторима, коришћење фази скупова вишег реда (парабола, логаритмари крива, Белова крива и др.) нема значајну примену у моделовању неизвесности које егзистирају у реалним проблемима [2]. Основне операције над ТФБ дефинисане су у [3]. Ако разматрамо два ТФБ $\tilde{A} = (l_1, m_1, r_1)$ и $\tilde{B} = (l_2, m_2, r_2)$, алгебарска правила која важе за ова два ТФБ су:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \quad (1)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (l_1 - r_2, m_1 - m_2, r_1 - l_2) \quad (2)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, r_1 * r_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A} : \tilde{B} = (l_1 : r_2, m_1 : m_2, r_1 : l_2) \quad (4)$$

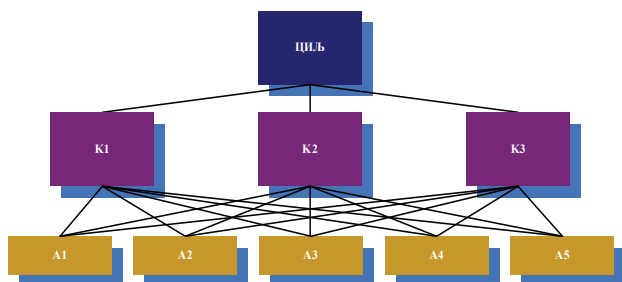
$$k * \tilde{A} = (k * l_1, k * m_1, k * r_1), k = const \quad (5)$$

$$\tilde{A}^{-1} = (l_1, m_1, r_1)^{-1} = \left(\frac{1}{r_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right) \quad (6)$$

Дефазификација је поступак којим се одређује скаларна вредност која на најбољи начин репрезентује фази скуп. Постоји више метода дефазификације, а који ће бити коришћен зависи од доносиоца одлуке и његовог знања и искуства.

3. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА ОДЛУЧИВАЊА

У овом раду хијерархију проблема одлучивања чине циљ, 3 критеријума и 5 алтернатива. Циљ је ранг потенцијалних процењивача и он је на врху хијерахије. Релевантни критеријуми су: К1–познавање посла; К2–увид у посао; К3–објективност процене. Разматране алтернативе су: А1–надређени; А2–диспечер; А3–колеге; А4–клијенти; А5–самопроцена.



Слика 1: Хијерархија проблема одлучивања

Постоје разне варијације по питању примене ФАХП-а, а разлике се углавном односе на начин фазификације скале и примењене методе приоритизације и дефазификације резултата. Већину приступа карактерише "оштра" фазификација лингвистичких израза на Сатијевој скали, који су представљени ТФБ. Под "оштром" фазификацијом подразумева се када је за фази број $\tilde{A} = (l_1, m_1, r_1)$, унапред одређен интервал поверења тј., унапред је дефинисано да вредност фази броја неће бити већа од r_1 ни мања од l_1 . Другим речима сигурни смо да вредност лингвистичког израза припада затвореном интервалу $[l_1, r_1]$. Оваквим одређењем интервала поверења не узима се у обзир степен неизвесности којим се процењују лингвистички изрази. Степен неизвесности се репрезентује дужином основице (доменом) фази броја. Другим речима у случају веће неизвесности при процени лингвистичког израза већа је и дужина основице (интервал поверења) фази броја. ФАХП који је примењен у овом истраживању узима у обзир степен неизвесности. Степен неизвесности је означен параметром ξ , при чему вред-

ност $\xi = 1$ описује највећу могућу неизвесност, док вредност $\xi = 0$ одговара ситуацији у којој са потпуном извесношћу знамо који лингвистички израз одговара датом поређењу критеријума оптималности. Вредност параметра ξ може да буде било која вредност из интервала $[0,1]$. Применом описаног поступка добија се фазификована Сатијева скала која је приказана у табели 1.

Табела 1: Фазификована Сатијева скала

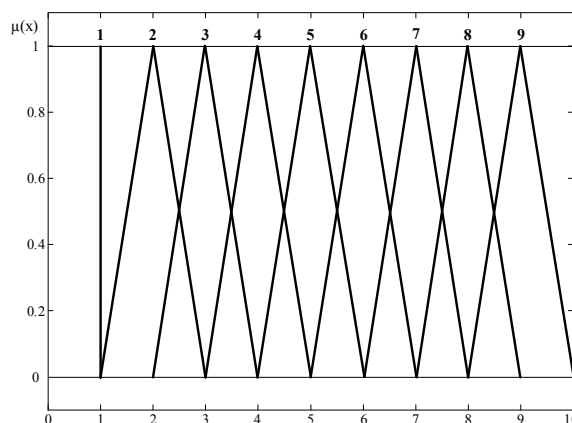
ЗНАЧАЈ	ОПИС	ФАЗИ ВРЕДНОСТ
1	Иати значај	(1,1,1)
2	Међувредност	(2- ξ , 2, 2+ ξ)
3	Слаба доминантност	(3- ξ , 3, 3+ ξ)
4	Међувредност	(4- ξ , 4, 4+ ξ)
5	Јака доминантност	(5- ξ , 5, 5+ ξ)
6	Међувредност	(6- ξ , 6, 6+ ξ)
7	Врло јака доминантност	(7- ξ , 7, 7+ ξ)
8	Међувредност	(8- ξ , 8, 8+ ξ)
9	Апсолутна доминантност	(9- ξ , 9, 9+ ξ)

На овај начин, за дату вредност параметра на случајан начин се бирају лева и десна граница интервала поверења фази броја, тако да се налазе у границама које су дефинисане изразом:

$$\tilde{A} = (l_1, m_1, r_1) = \left\{ \begin{array}{l} l_1 = m_1 - \xi, l_1 \leq m_1, l_1, m_1 \in [1/9, 9] \\ m_1 = m_1, m_1 \in [1/9, 9] \\ r_1 = m_1 + \xi, r_1 \leq m_1, r_1, m_1 \in [1/9, 9] \end{array} \right\} \quad (7)$$

где вредност m_1 представља вредност лингвистичког израза у којој функција припадности има највећу вредност тј., $m_1 = 1$.

За различите вредности параметра ξ могуће је генерисати различите скупове вредности критеријумских функција. У овом раду је приказан генерисани скуп критеријумских функција за $\xi = 1$. За различите вредности параметра ξ Сатијева скала поприма и различите облике, а на слици 2 приказан је графички приказ фазификоване Сатијевог скале за $\xi = 1$.



Слика 2: Графички приказ фази скале за $\xi = 1$

4. ПОСТУПАК СПРОВОЂЕЊА ФАХП

Спровођење ФАХП–а је реализовано тако што је са сваким доносиоцем одлуке (ДО), најпре спроведена комплетна, персонализована стандардна АХП етапа која се састојала из следећих корака:

- 1) Приказана је хијерархија проблема одлучивања са слике 1 и у кратком разговору објашњени су елементи хијерархије;
- 2) Објашњен је поступак АХП вредновања, односно дате су инструкције како треба вредновати елементе хијерархије помоћу фазификоване Сатијеве скале из табеле 1;
- 3) Уручен је формулар са матрицама поређења за ФАХП поређења у паровима елемената хијерархије помоћу фазификоване Сатијеве скале;
- 4) Саопштено је да ће по завршеном ФАХП вредновању, ДО бити упознат са коначним резултатом сопственог одлучивања о проблему и степеном конзистентности који је демонстрирао.

За одређивање вектора приоритета фази матрица поређења коришћен је АН метод (additive normalization method) према релацијама (8) и (9) и уз поштовање алгебарских правила за ТФБ.

$$a'_{ijl} = \frac{a_{ijl}}{\sum_{i=1}^n a_{ijl}}; a'_{ijm} = \frac{a_{ijm}}{\sum_{i=1}^n a_{ijm}}; a'_{ijr} = \frac{a_{ijr}}{\sum_{i=1}^n a_{ijr}}; \quad (8)$$

$$w_{il} = \frac{\sum_{j=1}^n a'_{ijl}}{n}; w_{im} = \frac{\sum_{j=1}^n a'_{ijm}}{n}; w_{ir} = \frac{\sum_{j=1}^n a'_{ijr}}{n}; \quad (9)$$

Методом АН су одређене локалне фази тежине матрица поређења, а адитивном синтезом која је приказана релацијом (10), су одређене фази тежине алтернатива у односу на циљ, чиме је завршено индивидуално одлучивање помоћу ФАХП

$$u_{il} = \sum_j w_{jl} d_{ijl}; u_{im} = \sum_j w_{jm} d_{ijm}; u_{ir} = \sum_j w_{jr} d_{ijr}; \quad (10)$$

где је:

- $u_{i(l,m,r)}$ – коначни (глобални) фази приоритет алтернативе i ;
- $w_{j(l,m,r)}$ – фази тежина критеријума j ;
- $d_{ij(l,m,r)}$ – локална фази тежина алтернативе i у односу на критеријум j ;

За дефазификацију фази тежина алтернатива у односу на циљ коришћен је градиран метод интеграције средина (Graded Mean Integration Representation) према релацији:

$$defuzzy \tilde{A} = (l_1 + 4m_1 + r_1) / 6 \quad (11)$$

У циљу поређења релативних важности дефазификованих тежина алтернатива ДО у односу на циљ, извршена је њихова нормализација. Нормализоване дефазификоване вредности тежина алтернатива ДО у односу на циљ за $\xi = 1$, као и испољени степени конзистентности (CR) приказани су у табели 2.

Табела 2: Дефазификоване тежине алтернатива и CR

DO	A1	A2	A3	A4	A5	CR
1.	0.349	0.341	0.171	0.069	0.070	0.033
2.	0.341	0.341	0.175	0.061	0.083	0.046
3.	0.424	0.258	0.176	0.058	0.085	0.080
4.	0.385	0.281	0.176	0.070	0.089	0.049
5.	0.417	0.257	0.181	0.047	0.098	0.064
6.	0.354	0.305	0.185	0.057	0.099	0.052
7.	0.319	0.375	0.157	0.052	0.096	0.059
8.	0.307	0.307	0.224	0.063	0.099	0.028
9.	0.305	0.305	0.205	0.069	0.116	0.042
10.	0.321	0.289	0.203	0.069	0.118	0.035
11.	0.326	0.326	0.177	0.071	0.101	0.032
12.	0.339	0.302	0.187	0.073	0.099	0.033
13.	0.289	0.289	0.225	0.079	0.119	0.026
14.	0.300	0.300	0.198	0.081	0.121	0.033
15.	0.313	0.313	0.217	0.068	0.089	0.039
16.	0.337	0.290	0.213	0.057	0.103	0.035
17.	0.315	0.315	0.215	0.067	0.087	0.040
18.	0.359	0.309	0.172	0.072	0.088	0.038
19.	0.407	0.278	0.163	0.060	0.092	0.035
20.	0.385	0.297	0.180	0.057	0.081	0.028

Како је код свих ДО вредност $CR \leq 0.1$, конзистентност је задовољена. У супротном, вредновање експерата према ФАХП би захтевало поновно разматрање. За обједињавање индивидуалних одлука у групну, у овом раду је коришћен метод аритметичког тежинског осредњавања (Weight Arithmetic Mean Method–WAMM) приказан релацијом 12.

$$w_i^{(g)} = \sum_{k=1}^m w_i^{(k)} \alpha_k \quad (12)$$

где је:

- $w_i^{(g)}$ – коначни (композитни) приоритет алтернативе A_i .
- m – број доносилаца одлука (експерата);
- α_k – тежина (значај) експерта;

Тежине ДО, табела 3, добијене су нормализацијом њихових коефицијената компетентности према приступу развијеном у [4].

Табела 3: Тежине експерата

EKSPERTI	(α_k)
1.	0.0543
2.	0.0455
3.	0.0454
4.	0.0472
5.	0.0455
6.	0.0455
7.	0.0453
8.	0.0560

ЕКСПЕРТИ	(α_k)
9.	0.0583
10.	0.0461
11.	0.0497
12.	0.0512
13.	0.0563
14.	0.0546
15.	0.0514
16.	0.0487
17.	0.0547
18.	0.0477
19.	0.0506
20.	0.0459
□	1

Групна WAMM ФАХП за тестирану вредност $\xi = 1$ приказана је табелом 4.

Табела 4: Групна WAMM ФАХП одлука

АЛТЕРНАТИВЕ	W	РАНГ
A1–Надређени	0.343	1
A2–Диспечер	0.304	2
A3–Колеге	0.191	3
A4–Клијенти	0.065	5
A5–Самопроцена	0.097	4

Из табеле 4 се види да је након спроведеног WAMM ФАХП поступка рангирање потенцијалних процењивача у процесу процене перформанси возача војних м/в на првом месту надређени са тежином 0.343. Потом следе диспечер са тежином 0.304, колеге са тежином 0.191, возач (самопроцена) са тежином 0.097 и клијенти са тежином 0.065.

5. ЗАКЉУЧАК

Сваки од могућих избора лица којима ће бити додељена улога процењивача у процесу процене перформанси запослених има своје предности и недостатке са становишта квалитета процене. За кога ће се организација одлучити, зависи од бројних фактора: организационог дизајна, управљачког стила, постављених

циљева и информација које се желе добити. У овом раду је показано како се за ту сврху може искористити познати метод вишекритеријумске анализе–АХП у свом фази облику. У раду је разматрана ситуација да о проблему рангирања лица која се као процењивачи могу укључити у процес процене перформанси возача војних м/в, одлучује 20 индивидуа. Идентификовани као ДО1–ДО20 доносиоци одлука су индивидуално користили ФАХП, а затим је контекст одлучивања проширен на групу. Пошто групно одлучивање допушта бројне варијанте руковања процесом, једна од важнијих је да се појединачним ДО додељују релативне тежине и тиме евентуално фаворизују једни у односу на друге при формирању групне одлуке. Овде треба нагласити разлику између термина "заједничка" и "групна" одлука. У првом случају имплицира се консензус, а у другом не нужно. Групни контекст који је третиран у раду одговара у целини другом случају, односно нису вршена никаква усаглашавања, консултације међу учесницима, а резултати индивидуалних вредновања су обједињени накнадно. Да би се максимално објективизирао групни контекст, у поступку синтезе индивидуалних одлука доносиоцима одлука додељиване су тежине које су кореспондирале са манифестованим коефицијентима њихове компетентности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zimmermann, H. J., *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Boston, USA: Kluwer Nijhoff Publishing, 2001.
- [2] Klir, G. J., Yuan, B., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Applications*, New Jersey, USA: Prentice Hall, 1995.
- [3] Dubois, D., Prade, H., *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, London, UK: Academic press, INC (LONDON) LTD, 1980.
- [4] Đorović B., *Istraživanje projektovanja organizacione strukture upravnih organa saobraćajne službe*, doktorska disertacija, Vojna Akademija, Beograd 2003.

МЕДИЈА ЦЕНТАР „ОДБРАНА”
Београд, Браће Југовића 19
e-mail: medijacentar@mod.gov.rs
www.odbrana.mod.gov.rs

Продаја
011/3201-810, 3241-254
e-mail: komercijala@odbrana.mod.gov.rs

Књижара
Београд, Васе Чарапића 22
Тел. 011/2184-925

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

519.8(082)

СИМПОЗИЈУМ о операционим истраживањима (43 ; 2016 ; Тара)

Зборник радова / XLIII Симпозијум о операционим истраживањима, SYM-OP-IS 2016 Тара, 21-24. септембар 2016. ; уредници Александар Илић, Далибор Петровић, Дејан Стојковић. – Београд : Медија центар „Одбрана”, 2016 (Београд : Војна штампарија). – 646 стр. : илустр. ; 25 см. – (Библиотека Војна књига ; књ. бр. 2072)

Радови на срп. и енгл. језику. – Тираж 200. – Стр. 9: Предговор / уредници. – Библиографија уз сваки рад. – Abstracts.

ISBN 978-86-335-0535-2

а) Операциона истраживања – Зборници
COBISS.SR-ID 225714444