



**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA SAOBRAĆAJ**



Mr Aleksandar Blagojević

MODELIRANJE EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

DOKTORSKA DISERTACIJA

**Mentori: Prof. dr Gordan Stojić
Prof. dr Slavko Vesković**

Novi Sad, 2016.



**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
DEPARTMENT OF TRAFFIC
ENGINEERING**



MSc Aleksandar Blagojević

**MODELING OF THE EFFICIENCY AND
EFFECTIVENESS OF RAILWAY
UNDERTAKINGS**

DOCTORAL DISSERTATION

Members, Mentors: Ph. D. Gordan Stojić
Ph. D. Slavko Vesković

Novi Sad, 2016.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:			
Идентификациони број, ИБР:			
Тип документације, ТД:	Монографска документација		
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал		
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација		
Аутор, АУ:	мр Александар Благојевић		
Ментор, МН:	др Гордан Стојић, ванредни професор		
Наслов рада, НР:	Моделирање ефикасности и ефективности жељезничких оператера		
Језик публикације, ЈП:	Српски		
Језик извода, ЈИ:	Српски		
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија		
Уже географско подручје, УГП:	Војводина		
Година, ГО:	2016.		
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука		
Место и адреса, МА:	Нови сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Физички опис рада, ФО:	7 поглавља / 199 страна / 26 табела / 70 слика / 7 прилога		
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство		
Научна дисциплина, НД:	Организације и технологије транспорта		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Жељезнички оператер, ефикасност и ефектифност, метода, ДЕА, фази логика, модел		
УДК			
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	Циљ овог истраживања био је да се развије модел за оцјену ефикасности и ефективности жељезничких оператера који би био у функцији повећања конкурентских способности истих. Да би се то остварило на основу стања у литератури и пракси, дефинисани су и вредновани критеријуми који утичу на ефикасност и ефективност и извршен њихов избор примјеном фази АХП. Развијени су модели за оцјену ефикасности жељезничког оператера. У развоју модела коришћени су принципи ДЕА и фази логике да се моделује неодређеност у подацима и користи експертско знање за оцјену. Тестирањем модела на жељезничком оператеру у БиХ закључено је да је модел примјенљив као алат за оцјену ефикасности.		
Датум прихватања теме, ДП:			
Датум одбране, ДО:			
Чланови комисије, КО:	Председник:	др Илија Танацков, редовни професор	
	Члан:	др Милица Миличић, доцент	
	Члан:	др Сениша Сремац, доцент	Потпис ментора
	Члан, ментор:	др Славко Весковић, редовни професор	
	Члан, ментор:	др Гордан Стојић, ванредни професор	



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :		
Identification number, INO :		
Document type, DT :	Monographic publication	
Type of record, TR :	Textual material printed	
Contents code, CC :	Ph. D. thesis	
Author, AU :	MSc Aleksandar Blagojević	
Mentor, MN :	Ph. D. Gordan Stojić, Associate Professor	
Title, TI :	Modeling of the efficiency and effectiveness of railway undertakings	
Language of text, LT :	Serbian	
Language of abstract, LA :	Serbian	
Country of publication, CP :	Serbia	
Locality of publication, LP :	Vojvodina	
Publication year, PY :	2016	
Publisher, PB :	Faculty of Tehnical Sciences	
Publication place, PP :	Novi Sad, Square of Dositej Obradović 6	
Physical description, PD :	7 chapters / 199 pages / 26 tables / 70 pictures / 7 annexes	
Scientific field, SF :	Traffic engineering	
Scientific discipline, SD :	Organizations and technologies of transport	
SUBJECT/KEY WORDS, S/KW :	Railway undertaking, efficiency and effectiveness, method, DEA, fuzzy logic	
UC		
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Square of Dositej Obradović 6, Novi Sad	
Note, N :		
Abstract, AB :	The objective of this study was to develop a model for evaluating the effectiveness and efficiency of railway undertakings, which would be aimed at increasing the competitive capabilities of the railway undertakings. In order to achieve this on the basis of the state in literature and practice, the criteria that affect the efficiency and effectiveness are defined and evaluated and their selection is made with the application of Fuzzy AHP. Models for the assessment of the efficiency of railway undertakings have been developed. In developing the model, the principles of DEA and Fuzzy logic have been used to model the uncertainty in the data and to use the expertise for assessment. By testing the model on the railway undertaking in Bosnia and Herzegovina it was concluded that the model is useful as a tool for the assessment of efficiency.	
Accepted by the Scientific Board on, ASB :		
Defended on, DE :		
Defended Board, DB :		
President:	Ph. D. Ilija Tanackov, Full Professor	
Member:	Ph. D. Milica Miličić, Assistant Professor	
Member:	Ph. D. Siniša Sremac, Assistant Professor	Mentor's sign
Member, Mentor:	Ph. D. Slavko Vesković, Full Professor	
Member, Mentor:	Ph. D. Gordan Stojić, Associate Professor	

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY	II
SPISAK SLIKA	III
SPISAK TABELA	V
SPISAK SKRAĆENICA.....	VI
1. UVODNA RAZMATRANJA.....	1
1.1. OBRAZLOŽENJE O POTREBAMA ISTRAŽIVANJA.....	1
1.2. PREGLED SADRŽAJA DISERTACIJE	2
1.3. STANJE U OBLASTI ISTRAŽIVANJA.....	3
1.4. PREDMET I PROBLEM ISTRAŽIVANJA	8
1.5. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	10
1.6. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	11
1.7. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA.....	12
2. ANALIZA RADA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA	14
2.1. ANALIZA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZEMALJA EU SA NAJRAZVIJENIM ŽELJEZNIČKIM SAOBRAĆAJEM I ŠVAJCARSKOJE	14
2.1.1. ŽELJEZNIČKI OPERATERI AUSTRIJE	15
2.1.2. ŽELJEZNIČKI OPERATERI BELGIJE	15
2.1.3. ŽELJEZNIČKI OPERATERI VELIKE BRITANIJE	17
2.1.4. ŽELJEZNIČKI OPERATERI NJEMAČKE	18
2.1.5. ŽELJEZNIČKI OPERATERI FRANCUSKE.....	19
2.1.6. ŽELJEZNIČKI OPERATERI HOLANDIJE	20
2.1.7. ŽELJEZNIČKI OPERATERI ŠVAJCARSKOJE	22
2.2. ANALIZA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZEMALJA SREDNJE I ISTOČNE EVROPE ...	23
2.2.1. ŽELJEZNIČKI OPERATERI ALBANIJE	24
2.2.2. ŽELJEZNIČKI OPERATERI BUGARSKE	24
2.2.3. ŽELJEZNIČKI OPERATERI MAĐARSKE	25
2.2.4. ŽELJEZNIČKI OPERATERI MAKEDONIJE.....	26
2.2.5. ŽELJEZNIČKI OPERATERI POLJSKE.....	27
2.2.6. ŽELJEZNIČKI OPERATERI RUMUNIJE	28
2.2.7. ŽELJEZNIČKI OPERATERI SLOVAČKE	29
2.2.8. ŽELJEZNIČKI OPERATERI SLOVENIJE	30
2.2.9. ŽELJEZNIČKI OPERATERI SRBIJE.....	31
2.2.10. ŽELJEZNIČKI OPERATERI HRVATSKE.....	32
2.2.11. ŽELJEZNIČKI OPERATERI CRNE GORE	33
2.2.12. ŽELJEZNIČKI OPERATERI ČEŠKE	34
3. ANALIZA ŽELJEZNIČKOG SISTEMA I ŽELJEZNIČKIH OPERATERA U BiH.....	35
3.1. ŽELJEZNICE REPUBLIKE SRPSKE A.D. (ŽRS).....	38
3.2. JP ŽELJEZNICE FEDERACIJE BiH D.O.O. (ŽFBiH).....	39
3.3. TEHNIČKO-EKSPLOATACIONI POKAZATELJI RADA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA BiH.....	40
A) Broj zaposlenih radnika željezničkih operatera BiH	40
B) Raspoloživi broj voznih sredstava željezničkih operatera u BiH	40
C) Komercijalna brzina prevoza željezničkih operatera u BiH	41
D) Pokazatelji proizvodnog zadatka željezničkih operatera u BiH	42
E) Vozni kilometri željezničkih operatera u BiH	43

F) Kvalitet usluge željezničkih operatera u BiH	43
G) Bezbjednost željezničkih operatera u BiH.....	44
H) Prihodi željezničkih operatera u BiH.....	44
I) Troškovi željezničkih operatera u BiH	45
4. DEFINISANJE I VREDNOVANJE KRITERIJUMA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA.....	47
4.1. IZBOR METODE VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA ZA RJEŠAVANJE PROBLEMA.....	48
4.2. METODA ANALITIČKIH HIJERARHIJSKIH PROCESA (AHP)	50
4.3. FAZI ANALITIČKI HIJERARHIJSKI PROCES (FAZI - AHP).....	52
4.4. FAZI BROJEVI I FAZI OPERACIJE	52
4.5. FAZI PROŠIRENA ANALIZA AHP METODA	54
4.6. IZBOR KRITERIJUMA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA.....	57
5. RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA	69
5.1. RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA DEA METODOM	69
5.1.1. TEORIJSKA OSNOVA DEA METODE	70
A) Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti ulazne orijentacije	71
B) Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti izlazne orijentacije	71
C) Specijalni slučajevi mjerenja tehničke efikasnosti	72
D) Mjerenje troškovne efikasnosti ili ukupne efikasnosti	74
E) Mjerenje prihodne efikasnosti	75
F) Mjerenje profitne efikasnosti	76
G) Matematički pristup za mjerenje efikasnosti	77
H) Modeli za mjerenje ekonomske efikasnosti.....	86
I) Modeli za rangiranje efikasnih DMU	87
J) DEA programski paketi i razvojna okruženja.....	88
5.1.2. DEA MODEL ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA	89
5.1.3. OCJENA EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA	91
A) RTS klasifikacija	92
B) Analiza stabilnosti	92
C) Optimalne vrijednosti ulaza i izlaza.....	94
5.2. RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA FUZZY LOGIKOM	95
5.2.1. TEORIJSKA OSNOVA FUZZY LOGIKE.....	95
5.2.2. FUZZY MODEL ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA	100
A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	101
B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	102
5.2.3. FUZZY MODEL ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE	109
A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	109
B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	110
5.2.4. FUZZY MODEL ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA.....	117
A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	117
B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	118
5.2.5. FUZZY MODEL ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE.....	124

A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	124
B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA	125
6. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA	131
6.1. IZBOR KRITERIJUMA ZA TESTIRANJE RAZVIJENIH MODELA.....	131
6.2. REZULTATI TESTIRANJA DEA MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA.....	132
6.3. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA	133
6.4. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE	137
6.5. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA	140
6.6. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE.....	143
7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA SA NAUČNIM DOPRINOSOM ISTRAŽIVANJA	146
7.1. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	146
7.2. NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA	151
7.3. PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA	152
LITERATURA	153
PRILOG A.....	162
A.1 Usporedni pregled karakteristika mreže i pokazatelja rada zemalja (Tabela A1).....	162
A.2 Usporedni pregled željezničkih operatera (Tabela A2).....	163
PRILOG B - Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije	164
PRILOG C - Vrijednosti izračunavanja za kriterijume.....	171
PRILOG D - Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti.....	181
PRILOG E - Ulazni i izlazni podaci za DEA model.....	183
PRILOG F - Karakteristike i upotreba DEA Excel Solver softvera	185
PRILOG G - TESTIRANJE FUZZY MODELA	191

SAŽETAK

Osnovni cilj evropske politike željezničkog transporta je osnivanje jedinstvenog željezničkog prostora. Otvaranjem željezničkog sektora tržišnoj konkurenciji željeznički operateri primorani su da se ponašaju kao i sva druga savremena preduzeća na drugim tržištima i u drugim industrijama. To znači da moraju konstantno razvijati i održavati konkurentske prednosti, odnosno biti bolji od drugih. U današnjim konkurentski vrlo intenzivnim uslovima to je i najteže postići. Pred željezničkim operaterima postavljen je izazov koji podrazumijeva pronalaženje optimalnih rješenja da posluju efikasno i efektivno, da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da razvijaju i održavaju konkurentske prednosti.

Predmet i cilj istraživanja ove disertacije fokusira pojam željezničkog operatera preko razvoja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti.

Na osnovu stanja u literaturi i praksi, identifikovani i raščlanjeni problemi efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Jedan od glavnih problema jeste veliki broj pokazatelja/kriterijuma koji utiču na efikasnost i efektivnost operatera. Da bi se rješio problem izbora pokazatelja eksperimentisano je sa jednom od najšire korišćenih metoda za donošenje odluka danas - Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces (FAHP), a to potkrepljuju dosadašnja iskustva iz literature da ovakve probleme treba rješavati metodama višekriterijumskog odlučivanja.

U disertaciji je razvijena grupa inovativnih modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti i ocjenu obima rada željezničkih operatera koji u velikoj mjeri mogu pomoći povećanju konkurentskih sposobnosti željezničkih operatera na jedinstvenom željezničkom tržištu.

Modeli razvijeni u ovoj disertaciji bazirani su na Analizi Obavijanja Podataka (eng. Data Envelopment Analysis) koja omogućuje poređenje efikasnosti uporedivih jedinica u ovom slučaju grupe operatera sa većim brojem ulaznih i izlaznih promjenljivih, i Fuzzy logike koja je pogodna za izražavanje neodređenosti i neizvjesnosti i odlična je u onim modelima u kojima su intuicija i procjena primarni elementi, a što je slučaj u predmetu istraživanja ove disertacije.

Razvijeni modeli omogućuju objedinjavanje grupe pokazatelja (resursa, operativnih, finansijskih, kvaliteta i bezbjednosti) u jedinstvenu ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera a takođe omogućuje i pružanje informacija o korektivnim akcijama kojima se može unaprijediti efikasnost i efektivnost operatera.

Predloženi modeli testirani su na realnim primjerima, odnosno željezničkom operateru ŽRS i izabranim operaterima iz Evrope. Analiza rezultata pokazuje izuzetnu pogodnost primjene razvijenih pristupa za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

KLJUČNE RIJEČI: Željeznički operater, efikasnost i efektivnost, metoda, DEA, fazi logika. model

SUMMARY

The main objective of the European policy of rail transport is the development of a single railway area. The opening of the railway sector to market competition impose that railway undertaking behave like any other modern enterprises in other markets and in other industries. It means that they must constantly develop and maintain competitive advantages, and be better than others. In today's very intense competition conditions, this is the most difficult to achieve. The railway undertakings are challenged to find optimal solutions to operate efficiently and effectively, in order to not only survive on the transport market, but also to develop and maintain a competitive advantage.

The scope and purpose of this dissertation focuses on the term of railway undertaking through the development of models for the evaluation of the effectiveness and efficiency of railway undertakings in order to increase the competitive ability.

Based on the state in the literature and practice, the problems of efficiency and effectiveness of railway undertakings are identified and analyzed. One of the main problems is the large number of indicators/criteria that affect the efficiency and effectiveness of the railway undertaking. To solve the problem of indicators selection, it was experimented with one of the most used methods for making decisions today - Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), and previous experiences from the literature show that these problems should be solved with multi-criteria decision making methods.

The thesis developed a group of innovative models for the evaluation of efficiency and effectiveness and assessing the scope of work of railway undertakings that can greatly help to increase the competitive ability of railway undertakings in the single railway market.

The models developed in this thesis are based on Data Envelopment Analysis and Fuzzy logic. The Data Envelopment Analysis enables comparison of efficiency comparable units, in this case the group of railway undertakings with a number of input and output variables. The Fuzzy logic is suitable for expression of indeterminacy and uncertainty, and great in those models in which intuition and assessment are the primary elements, which is the case in the research of this dissertation.

The developed models allow the integration of indicator groups (resources, operational, financial, quality and safety indicators) into a single assessment of the effectiveness and efficiency of railway undertakings and also allow the provision of information about the corrective actions that can improve the efficiency and effectiveness of the railway undertaking.

The proposed models are tested on actual examples, eg. railway undertaking Railways of Republic of Srpska and chosen railway undertakings from Europe. Analysis of the results shows exceptional suitability for use of developed approach for evaluating the effectiveness and efficiency of railway operators.

KEYWORDS: *Railway undertaking, efficiency and effectiveness, method, DEA, fuzzy logic, model*

SPISAK SLIKA

Slika 1.1.	Metodologija istraživanja	13
Slika 3.1.	Institucionalni okvir željezničkog sektora u BiH	35
Slika 3.2.	Mreža pruga željeznica Bosne i Hercegovine	36
Slika 3.3.	Organizaciona šema Željeznica Republike Srpske	38
Slika 3.4.	Organizaciona šema Željeznica Federacije Bosne i Hercegovine	39
Slika 3.5.	Pokazatelji proizvodnog zadatka željezničkih operatera u BiH	42
Slika 3.6.	Ostvareni ukupan prihodi željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu	45
Slika 3.7.	Ostvareni ukupni troškovi željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu	46
Slika 4.1.	Linearna skala kvantifikacije	49
Slika 4.2.	Primjena hijerarhije u AHP	51
Slika 4.3.	Trougaoni fazi broj \tilde{M}	53
Slika 4.4.	Presjek između M_1 i M_2	55
Slika 5.1.	Prikaz tehničke efikasnosti	73
Slika 5.2.	Prikaz dekompozicije troškovne efikasnosti	75
Slika 5.3.	Prikaz dekompozicije prihodne efikasnosti	76
Slika 5.4.	Prikaz dekompozicije profitne efikasnosti	77
Slika 5.5.	DMUj okarakterisana sa m ulaza i s izlaza	80
Slika 5.6.	Granica efikasnosti CCR modela	81
Slika 5.7.	Granica efikasnosti BCC modela	82
Slika 5.8.	DEA model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transporta putnika	89
Slika 5.9.	Željeznički operater kao DMU za ocjenu efikasnosti	91
Slika 5.10.	Karakteristična funkcija fuzzy skupa	96
Slika 5.11.	Struktura fuzzy sistema	97
Slika 5.12.	Primjer fuzzy skupova	97
Slika 5.13.	Fuzzy I i fuzzy II	97
Slika 5.14.	Fuzzy NEGACIJA	98
Slika 5.15.	Primjer lingvističkih promjenljivih	98
Slika 5.16.	Povezanost za pravilo AKO V vrlo mala I A mala ONDA Scenario = scenario 1	99
Slika 5.17.	Defazifikacija fuzzy modela	99
Slika 5.18.	Metodi defazifikacije	100
Slika 5.19.	Izgled strukture modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport putnika	102
Slika 5.20.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova AL, AZ, i AD	103
Slika 5.21.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova BMBVS, BZBVS i BVBVS	103
Slika 5.22.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova C_MBPP, C_ZBPP i C_VBPP	104
Slika 5.23.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: DZTN, i DNTN.	105
Slika 5.24.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: ELB i EDB	106
Slika 5.25.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova FLB i FDB	106

Slika 5.26.	Izgled strukture modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transporta robe	110
Slika 5.27.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova AL, AZ, i AD	111
Slika 5.28.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova BMBVS , BZBVS i BVBVS	112
Slika 5.29.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova C_MBPP, C_ZBPP i C_VBPP	112
Slika 5.30.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: DZTN, i DNTN.	113
Slika 5.31.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: ELP i EDP.	114
Slika 5.32.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova FLB i FDB	114
Slika 5.33.	Izgled strukture modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika	118
Slika 5.34.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova AL, AZ, i AD	119
Slika 5.35.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova BNBZ i BOBZ	119
Slika 5.36.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: CZTN i CNTN .	120
Slika 5.37.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: DNP i DZP	121
Slika 5.38.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova ELB i EDB	121
Slika 5.39.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova FMBVK , FZBVK i FVBVK	122
Slika 5.40.	Izgled strukture modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe	125
Slika 5.41.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova AL, AZ, i AD	126
Slika 5.42.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova BNBZ i BOBZ	126
Slika 5.43.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: CZTN i CNTN	127
Slika 5.44.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: DNP i DZP	127
Slika 5.45.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova ELB i EDB	128
Slika 5.46.	Funkcija pripadnosti fuzzy skupova FMBVK, FZBVK, i FVBVK	129
Slika 6.1.	Ocjena obima rada operatera za transport putnika u funkciji ulaznih parametara	134
Slika 6.2.	Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F	135
Slika 6.3.	Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport putnika	136
Slika 6.4.	Slika 5.35. Ocjena obima rada operatera za transport robe u funkciji ulaznih parametara	137
Slika 6.5.	Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F	138
Slika 6.6.	Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe	139
Slika 6.7.	Ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika u funkciji ulaznih parametara	140
Slika 6.8.	Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F	141
Slika 6.9.	Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe	142
Slika 6.10.	Ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe u funkciji ulaznih parametara	143
Slika 6.11.	Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F	144
Slika 6.12.	Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe	145

SPISAK TABELA

Tabela 3.1.	Broj zaposlenih po željezničkim operaterima u BiH (2014. god.)	40
Tabela 3.2.	Raspoloživi broj voznih sredstava željezničkih operatera u BiH (2014. god.)	41
Tabela 3.3.	Prosječna komercijalna brzina željezničkih operatera u BiH (2014. god.)	41
Tabela 3.4.	Ostvareni vozni kilometri željezničkih operatera u BiH (2014. god.)	43
Tabela 3.5.	Prosječno kašnjenje vozova u procentima (%) u odnosu na red vožnje željezničkih operatera u BiH u periodu 2012. – 2014. god.	43
Tabela 3.6.	Pregled ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu (u odnosu na 10^6 voz km)	44
Tabela 4.1.	Kriterijumi za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika	58
Tabela 4.2.	Kriterijumi za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe	59
Tabela 4.3.	Lingvistička skala značaja	64
Tabela 4.4.	Komparaciona matrica za grupu kriterijuma resursa za transport putnika	65
Tabela 4.5.	Fazi komparaciona matrica za kriterijume grupe resursa	65
Tabela 4.6.	Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za grupu resursa	66
Tabela 4.7.	Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja kriterijuma po parovima za sve grupe u transportu putnika	67
Tabela 4.8.	Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja po parovima za sve grupe u transportu robe	68
Tabela 5.1.	Primal i dual CCR modela, ulazno orijentisani	81
Tabela 5.2.	Primal i dual CCR modela, izlazno orijentisani	82
Tabela 5.3.	Primal i dual BCC modela, ulazno orijentisani	83
Tabela 5.4.	Primal i dual BCC modela, izlazno orijentisani	83
Tabela 5.5.	Primalna forma CRS i ponderisanog CRS slak-baziranog modela	84
Tabela 5.6.	Dualna forma CRS i ponderisanog CRS slak-baziranog modela	85
Tabela 5.7.	Mjerenje troškovne i prihodne efikasnosti	86
Tabela 5.8.	Mjerenje profitne efikasnosti	87
Tabela 5.9.	Rangiranje efikasnih DMU	88
Tabela 5.10.	Željeznički operateri za transport putnika	90
Tabela 5.11.	Primjer za bazu fuzzy pravila	98
Tabela 6.1.	Ocjena efikasnosti željezničkih operatera za transport putnika	132

SPISAK SKRAĆENICA

AHP	Analitički hijerarhijski proces (Analytic Hierarchy Process)
ATOC Ltd	Association of Train Operating Companies Limited
BCC	Model, nazvan po početnim slovima prezimena autora, (Banker, Charnes, Cooper, 1984).
BDZ	Bulgarian state railways passenger
BiH	Bosna i Hercegovina
CCR	Model, nazvan po početnim slovima prezimena autora, (Charnes, Cooper, Rhodes)
ČD	České Dráhy
CFR	Societatea Națională de Transport Feroviar de Călători
COG	Metod centroida (Center Of Gravity)
CRS	(engl. Constant Returns to Scale)
DB	Deutsche Bahn DB Vertrieb GmbH
DEA	(Data Envelopment Analysis) Analiza obavijanja podataka
DMU	Jedinica odlučivanja (engl. Decision Making Unit)
ELECTRE	(ELimination Et Choice Translating REaliti)
FAHP	Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces
HSH	Hekurdha Shqiptarë SH.
HŽ	Hrvatske željeznice - Putnički prijevoz d.o.o.
MÁV-Start	MÁV-Start Vasúti Személyszállító Zrt.
MŽT	Makedonski Železnici Transport AD Skopje
NDRS	Primalne forme (engl. Non Decreasing Returns to Scale)
NIRS	(engl. Non Increasing Returns to Scale)
NS	NS Reizigers BV
ÖBB	ÖBB Personenverkehr AG
PKP	Polskie Koleje Państwowe Spółka Akcyjna
PROMETHEE	Preference Ranking Organizacion METHod for Enrichment Evolution
RTS	(engl. Return to Scale) klasifikacije
SBB	Swiss Federal Railways-Passenger subsidiary
SNCB/NMBS	Société nationale des chemins de fer Belges / Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen
SNCF	Société Nationale des Chemins de fer français Voyages
SV	Srbija Voz a.d.
SŽ	Slovenske železnice - Potniški promet d.o.o.
VKO	Više Kriterijumsko Odlučivanje
VRS	(engl. Variable Returns to Scale) DEA model
ŽFBiH	Željeznice Federacije BiH
ŽPCG	Željeznički prevoz Crne Gore AD
ŽRS	Željeznice Republike Srpske
ZSSK	Železničná spoločnosť Slovensko
FWSIs	(fatalities and weighted serious injuries) ozbiljne nesreće i ponderisane ozbiljne povrede

1. UVODNA RAZMATRANJA

Danas, savremeno poslovanje prvenstveno podrazumijeva izrazito zahtjevnu tržišnu borbu, bez obzira na to da li se radi o proizvodnji ili pružanju transportnih usluga. Oštra konkurencija zahtijeva da organizovanost kompanija postane centralna determinanta poslovanja, a aktivnosti koje se sprovode budu potpuno usklađene i finansijski isplative, kako za nosioca, tako i korisnika usluga. U cilju opstanka na tržištu kompanije nastoje da pronađu optimalan odnos između uložених resursa i ostvarenih ciljeva.

Efikan željeznički transport je veoma bitna komponenta ekonomskog razvoja na globalnom i nacionalnom nivou. S toga je od posebne važnosti restrukturirati željeznice i razviti njihove konkurentske sposobnosti. Da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da bi mogli da razvijaju i održavaju konkurentske prednosti moraju da posluju efikasno i efektivno.

1.1. OBRAZLOŽENJE O POTREBAMA ISTRAŽIVANJA

U velikom broju zemalja u Evropi, ali i u drugim zemljama svijeta, prihvaćeni su standardi koji se odnose na restrukturiranje željezničkog sistema. Donijeta su odgovarajuća pravna akta kojim je izvršena transformacija željeznica. Dosadašnje faze restrukturiranja nisu omogućile potpunu liberalizaciju željezničkog transportnog tržišta, očekivano pozitivno poslovanje željezničkog sektora, zadovoljenje zahtjeva transportnog tržišta, podizanje kvaliteta željezničkih usluga na potrebni nivo, interese društvene zajednice na nacionalnom, regionalnom i lokalnom nivou i dr. Restrukturiranje željezničkog sistema donijelo je samo djelimično pozitivne rezultate poslovanja na glavnim željezničkim pravcima ili panevropskim koridorima i to uglavnom u tranzitnom saobraćaju. Iako je kvalitet usluga željezničkog sistema nešto povećan, on je i dalje daleko od kvaliteta koji zahtijeva transportno tržište. Takav je slučaj i sa željeznicama u BiH, ali i u okruženju.

U pružanju odgovarajućeg kvaliteta željezničkih usluga veoma važnu ulogu pored željezničke infrastrukture imaju i željeznički operateri sa aspekta: pouzdanosti, frekventnosti, taktnog reda vožnje, brzine saobraćaja, bezbjednosti, organizacije rada u željezničkim stanicama, konkurentne cijene na transportnom tržištu, itd. U sadašnjim uslovima u velikom broju zemalja prevoz obavljaju uglavnom nacionalni operateri koji su proizašli iz transformacije – podijele željezničkih preduzeća. Ovakvim kompanijama u većini slučajeva upravljaju države.

Kako ističe Stojić (2010) centralizovano upravljanje željezničkim sistemom karakteriše niz nedostataka, kao npr.: favorizovanje željezničkog tranzitnog saobraćaja, nezainteresovanost za decentralizaciju i regionalizaciju saobraćaja, nezadovoljavanje u potpunosti zahtjeva transportnog tržišta regija i lokalnih jedinica, nedovoljna saradnja sa lokalnim sredinama, i sl. Takav pristup preduzeća izazvan je ukupnim pozitivnim bilansom poslovanja i analizom dosadašnje realizacije željezničkog saobraćaja.

Potpuna liberalizacija željezničkog transportnog tržišta podrazumijeva, prije svega, slobodan i nediskriminišući pristup željezničkoj infrastrukturi uz činjenicu da funkciju prevoza obavlja veći broj operatera na odgovarajućoj nacionalnoj željezničkoj mreži. Da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da bi mogli da razvijaju i održavaju konkurentske prednosti moraju da posluju efikasno i efektivno. Efektivnost i efikasnost transportnih aktivnosti značajno utiče na profitabilnost poslovanja svih subjekata uključenih u proces, ali se ne mogu obezbijediti bez velikih napora u cilju procesa upravljanja kvalitetom i transportnim aktivnostima.

Da bi se ocijenilo pravilno izvođenje operacija u prevozu putnika i robe željeznicom, odnosno efikasnost željezničkih operacija, neophodno je definisati i odrediti odgovarajuće indikatore. Imajući u vidu da efektivnost u željezničkom saobraćaju čini broj usluga u ponudi i sadržaji usluga koje su realizovane, neophodno je da se odrede kriterijumi koji mogu da definišu efikasnost. Na osnovu definicije, efikasnost zavisi od broja izvršenih u odnosu na broj planiranih vožnji, a imajući u vidu razloge koji su doveli do toga da se putovanje ne realizuje (vremenski uslovi, tehnička neispravnost i nedostatak osoblja).

Prethodna obrazloženja ukazuju na potrebu utvrđivanja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera i definisanje potrebnih elemenata za vrednovanje efikasnosti i efektivnosti za razvoj željezničkih operatera uzimajući u obzir sve relevantne parametre i efekte.

1.2. PREGLED SADRŽAJA DISERTACIJE

Osnovni korpus disertacije, sastavljen od sedam poglavlja i relevantne literature omogućavaju kontinuitet u upoznavanju sa doktorskim radom i rezultatima.

Prvo poglavlje je uvodno. Opisano je obrazloženje za izbor navedene teme, dat je pregled sadržaja disertacije i stanja u oblasti istraživanja mjerenja efikasnosti i efektivnosti. U okviru poglavlja opisani su predmet, problem i cilj istraživanja. Predmet istraživanja predstavlja efikasnost i efektivnost željezničkih operatera u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti. Osnovni cilj ove disertacije je razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koji bi bio u funkciji povećanja njihovih konkurentskih sposobnosti. Dodatni cilj istraživanja ogleda se u utvrđivanju kriterijuma koji utiču na efikasnost i efektivnosti operatera, njihovo vrednovanje i izbor. Nakon identifikacije osnovnih problema istraživanja, postavljene su osnovne hipoteze istraživanja i predstavljena metodologija istraživanja.

U rješavanju predhodno postavljenog cilja u drugom poglavlju analizirana su željeznička preduzeća u kontekstu restrukturiranja, dat je pregled šest najrazvijenih zemalja Evropske unije i Švajcarske, a zatim i zemalja srednje i istočne Evrope. Takođe, izvršena je kompleksna analiza željezničkih operatera.

Treće poglavlje posvećeno analizi željezničkog sistema i željezničkih operatera u Bosni i Hercegovini u okviru koje je sagledano funkcionisanje, opremljenost i organizaciona struktura željezničkih operatera (Željeznica Republike Srpske i Željeznica Federacije BiH).

U četvrtom poglavlju definisani su kriterijumi, izvršeno je vrednovanje i izbor predloženih kriterijuma za efikasnost i efektivnost operatera, a na osnovu višekriterijumskog odlučivanja i odabrane metode Fazi Analitički Hijerarhijski Proces (Fuzzy Analytic Hierarchy Process – FAHP).

Peto poglavlje je posvećeno razvoju modela. U prvom dijelu poglavlja data je teorijska pozadina Analize Obavijanja Podataka (eng. Data Envelopment Analysis) kao najčešće korišćene metode za ocjenu efikasnosti i efektivnosti. Razvijen je model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti grupe željezničkih operatera. Ispitane su mogućnosti razvijenog modela i isti je testiran i verifikovan na grupi od 21 željezničkog operatera za transport putnika. U drugom dijelu ovog poglavlja data je teorijska osnova Fuzzy logike i istom su razvijene grupe modela za ocjenu obima rada željezničkih operatera i ocjenu pojedinačne efikasnosti i efektivnosti.

U šestom poglavlju izvršeno je testiranje razvijenih modela i prikazana analiza dobijenih rezultata istraživanja. Ispitane su mogućnosti razvijenog DEA modela i isti je testiran i verifikovan na grupi od 21 željezničkog operatera za transport putnika. Utvrđene su mogućnosti primjene razvijenih fazi modela i isti su testirani i verifikovani na konkretnom primjeru, odnosno na operateru Željeznica Republike Srpske. Na osnovu analize dobijenih rezultata potvrđene su i dokazane postavljene hipoteze. Dokazivanjem hipoteza potvrđeno je da se razvijenim modelima za ocjenu efikasnosti i efektivnosti mogu unaprediti konkurentne sposobnosti željezničkih operatera.

Na kraju rada u sedmom poglavlju iznijeta su zaključna razmatranja, naučni doprinos istraživanja kao i pravci budućih istraživanja.

Pregled korišćene literature dat je na kraju rada a i u samom radu u skladu sa materijom koja se obrađuje. Sastavni dio rada čine i prilozi.

1.3. STANJE U OBLASTI ISTRAŽIVANJA

Efikasan željeznički transport je veoma bitna komponenta ekonomskog razvoja na globalnom i nacionalnom nivou. S toga je od posebne važnosti restrukturirati željeznice i razviti njihove konkurentne sposobnosti. Evropska unija započinje sveobuhvatan proces restrukturiranja i komercijalizacije željezničkog saobraćaja, koji omogućuju reafirmaciju i poboljšanje kvaliteta željezničkih usluga i efikasnosti željeznice. Polazni dokumenti za ostvarivanje cilja su: Plan željeznica, Povelja o teretnom saobraćaju, Direktiva 2004/51/EC, Evropska tehnička strategija za željeznička preduzeća (Bijela knjiga 1996 i 2011). Glavni cilj dokumenata EU je osposobljavanje željeznice za konkurentnost na transportnom tržištu.

Evropske željeznice su 1997. godine usvojile dokument "UIC Plan - Scenario, Strategy, Action" koji sadrži scenario budućeg razvoja, strategiju željeznice i odgovarajuće akcije (UIC, 1997). Ovim dokumentom su definisane prioritete oblasti i ciljevi razvoja u funkciji kvaliteta usluga u putničkom i teretnom saobraćaju.

Kako bi pokazale svoju spremnost da dostignu visok nivo kvaliteta usluga, evropske željeznice (CER et al, 2003), inicirale su u Rimu 04. jula 2003. godine Povelju o teretnom saobraćaju (Freight Quality Charter). Potpisivanjem Povelje željeznički operateri su se obavezali da ponude atraktivne usluge na visokom nivou kvaliteta. U praksi to znači da ugovor između željezničkih operatera i njihovih korisnika uključuje odredbe koje se odnose na kvalitet, i to: odgovornost, bezbjednost, planiranje, tačnost i pouzdanost, informisanost, dostupnost mobilnih kapaciteta, transparenti obračuni i postprodajne usluge.

Direktivom 2004/51/EC od 29.04.2004., definisane su temeljne odredbe liberalizacije željezničkog sektora. Ovom Direktivom se proširuju prava pristupa za međunarodne teretne željezničke usluge na cjelokupnoj mreži od 01.01.2006. godine. Od 01.01.2007. godine proširenje ovih prava se primjenjuje na sve vrste željezničkih teretnih usluga tj. na otvaranje i nacionalnih tržišta teretnog saobraćaja svih zemalja članica Evropske Unije. Liberalizacija tržišta omogućava željezničkim operaterima teretnog transporta da se takmiče sa ostalim konkurentima i posluju na principima biznisa, što će u konačnom dovesti do nižih cijena i većeg kvaliteta usluga za korisnike.

Prema Evropskoj tehničkoj strategiji za željeznička preduzeća (European Railway Technical Strategy, European Rail Infrastructure Management Managers, 2008.), efikasnost željezničkog putničkog i teretnog saobraćaja povećala bi se i više nego što je neophodno ako se smanje ukupni troškovi kompanije. Izazovni scenario za željeznice je da olakša veliki ekonomski razvoj u budućnosti, što bi izazvalo veću potražnju za prevozom putnika i tereta, zadržavajući visok nivo javne svijesti o životnoj sredini i smanjenju emisije ugljendioksida (povećana energetska efikasnost). Scenario velikog privrednog razvoja je osnova pomenute strategije, kao i potreba da željeznički sektor bude isplativ i da nudi atraktivan vid transporta koji će zadovoljiti standarde zaštite životne sredine uz uvođenje održivih rješenja.

Da bi se ispunili uslovi, u skladu sa prethodno predstavljenim scenarijom, željeznica mora biti multi-funkcionalna i treba da smanji ukupnu cijenu kroz:

- Veliki kapacitet (putnički i teretni kilometri po kilometru pruge);
- Visoku pouzdanost usluga (povećan procenat blagovremene dostave i manje kašnjenje);
- Nizak nivo emisije ugljendioksida (tona po putničkom i teretnom kilometru);
- Smanjenje buke;
- Povećane udobnost i adekvatan putnički prostor (željeznička stanica);
- Povećane dostupnost mobilnih kapaciteta;
- Bolju informisanost (prije i tokom putovanja);
- Bolju bezbjednost (od trenutka ulaska do trenutka izlaska iz stanice);
- Stabilan nivo pouzdanosti (ukupan ekvivalent izgubljenih života, kao rezultat rada sistema).

Izučavanjem dostupne naučno – stručne literature koja obrađuje tematiku efikasnosti i efektivnosti, hronološkim redom po godinama izdanja navodeni su nekoliko značajnijih rezultata i zaključaka:

Garcia-Cebrian, i Jorge-Moreno (1999) iznose rezultate istraživanja u kojem su na 21 željezničkom preduzeću posmatrali uticaj organizacijskih promjena na poslovnu efikasnost (povećanje prihoda, smanjenje troškova, povećanje produktivnosti).

Ehrma NN (2001) ističe da je deficit državnih željeznica ogroman i da je pitanje efikasnosti kompanija postalo aktuelno u ekonomsko-političkim debatama. Stalni deficiti željeznica takođe ukazuju na to da bi višak kapaciteta u cijeloj industriji uz nedostatak efikasnosti željeznica pod državnom upravom mogao biti glavni razlog za nedovoljan ili negativan povrat uloženog kapitala. U vremenima kada u cijelom svijetu postoji veliki javni dug, država ima prirodan interes da se željeznička preduzeća prilagode i da kapital koji je njima dodijeljen učine isplativim.

José Baños-Pino, et. al (2002) u svojoj studiji "Alokativna mjera efikasnosti pomoću funkcije udaljenosti: Slučaj javne željeznice u Španiji", procjenjuje sistem jednačina za funkciju ulaznih podataka udaljenosti i troškova dionica korištenjem godišnjih podataka u periodu od 1955. godine do 1995. godine. Pomoću ove procedure su provjerili prisustvo stalne alokativne neefikasnosti, posebno sistematski preveliku iskorištenost radne snage i malu iskorištenost kapitala. Osim toga, postoje empirijski dokazi da su, od 1984. godine, menadžerski ugovori poboljšali situaciju u željeznicama Španije.

U radu (Borenstein i sar., 2004), predložena je metodologija za procjenu učinka organizacija koje pružaju usluge. Ciljevi u ovom radu bili su da se definišu faktori koji bi mogli da se koriste za procjenu efikasnosti ovih jedinica odlučivanja, kao i da se odrede grupe sličnih jedinica koje razvijaju iste funkcije a razlikuju se samo u intenzitetu korišćenja resursa. Analiza je uključila poređenja relativne efikasnosti više različitih jedinica, između ostalih i poštanskih operatora u Brazilu, korišćenjem DEA metode. Autori su ukazali da predložena metodologija može da obezbijedi korisne informacije koje mogu da pomognu menadžerima u procesu donošenja odluka.

Bart W. Wiegmans i A. Rogier T. Donders (2007) su u svom radu pokušali da odgovore na sljedeće istraživačko pitanje: Koliko su efikasne evropske željezničke kompanije u međusobnom poređenju? Kada je fokus stavljen na "produktivnost radne snage", Railcargo Austria i VR Cargo relativno dobro posluju u odnosu na svoje konkurente. RENFE i SNCF Fret imaju najlošije rezultate. Ukoliko je fokus na "produktivnosti prodaje" najbolji su Green cargo, SBB i VR Cargo. Najlošije rezultate imaju Trenitalia, CP i SNCF Fret. Analiza uticaja, koristeći model mješovitog pristupa, pokazala je da postoje ogromne razlike između kompanija. Sveukupni trendovi uglavnom nisu značajni, ali raspodjele znakova trendova (+ ili -) su prilično uvjerljive i značajne. Nastala su dva osnovna zaključka: Prvo, ulazni podaci (zaposleni, lokomotive i željeznička kola) su smanjeni tokom godina. Drugo, performanse parcijalne produktivnosti (tone/željeznička kola, tonski km/željeznička kola, prodaja/željeznička kola, zaposleni/željeznička kola, prodaja/tone, prodaja/zaposleni, prodaja/tonski km i tonski km/zaposleni) su poboljšane tokom godina.

Cristina Barbot, Alvaro Costa, i Elena Sochirca (2008) analizirali su efikasnost i produktivnost aviokompanija koristeći dvije različite metodologije: analizu obavljanja podataka i produktivnost ukupnih faktora, a dodatno su istražili koji faktori čine razlike u efikasnosti. Rezultati su pokazali da su low-cost kompanije generalno efikasnije od onih sa punim uslugama. Efikasnost određena na osnovu disperzije indexa, DEA analize i produktivnosti ukupnih faktora između aviokompanija znatno se razlikuje po geografskim područjima. Radna snaga je jedini input koji definitivno utiče na produktivnost, pa su se veće aviokompanije pokazale kao efikasnije, što ukazuje na postojanje ekonomije obima.

Ming-Miin Yu i Erwin T.J. Lin (2008) su ocijenjivali putničku i teretnu tehničku efikasnost, efikasnost usluga i tehničku efikasnost 20 odabranih željeznica drugih zemalja za 2002. godinu.

Studija je otkrila da se ove mjere značajno razlikuju. Budući da analiza obavljanja podataka multi-aktivnih mreža modelira realnost poslovanja željeznice, može se dodatno dobiti uvid u postojeće stanje i na taj način mogu se predložiti strategije za poboljšanje operativnih performansi.

Pavlyuk Dmitry (2008) u svojoj studiji "Analiza efikasnosti željeznica evropskih zemalja", koristi analizu stohastičkih granica za procjenu efikasnosti željezničkog sistema u evropskim zemljama. On željeznicu posmatra kao sistem koji koristi svoju dužinu operativnih linija, broj lokomotiva i vagona, zaposlene i skalu tržišta kao što su broj stanovnika i turista za prevoz putnika i tereta. Rezultat istraživanja je pokazao da željeznički sistemi imaju ogromne razlike u tehničkoj efikasnosti između različitih zemalja, kao i između teretnog i putničkog transporta unutar iste zemlje.

Cantos, Monsalves i Martinez (2010) primjenjuju DEA analizu da procijene uticaj reformi na produktivnost i efikasnost, na uzorku od 16 evropskih zemalja u periodu 1985-2004. godine. Oni su zaključili da je na efikasnost i produktivnost željeznice pozitivno uticalo vertikalno razdvajanje, iako je efekat izgleda jači kada je odvajanje praćeno povećanjem konkurencije. Varijabla koja se ovdje koristi kao ulazni podatak su dužina linije i radna snaga, kao i vozni park. Izlazni podaci su broj putnika i količina prevezene robe, u smislu putničkih km i tonskih km.

Friebel, Ivaldi i Vibes (2010) pokušali su izmjeriti uticaj reformi u evropskim željeznicama na tehničku efikasnost željeznice. Da bi to postigli, koristili su analizu ulaznih i izlaznih podataka, primjenom funkcije Cobb-Douglas koja implicitno pretpostavlja odvajanje između ulaznih i izlaznih podataka. Za ulazne podatke koristili su dužinu pruga na mreži i broj zaposlenih, a kao izlazne podatke putničke kilometre i tonske kilometre posebno za putnički i teretni transport. Radili su na uzorku 11 evropskih zemalja za period od 1980 do 2003. godine. U fizičke podatke od ranije, oni su dodali tri vrste reformi koje su se desile u Evropi, i to, odvajanje, ulazak drugih kompanija (konkurencija) i postojanje nezavisnog regulatornog tijela. Njihovi rezultati ukazuju na to da su reforme željeznice povećale efikasnost željezničkog transporta, kao i da su reforme uspješnije kada se primjenjuju sekvencijalno, umjesto sve odjednom.

Cebon i Samson (2011) predlažu uvođenje informacionih sistema razvijanjem posebnih aplikacija za mobilne telefone i internet koji bi omogućili efikasniji i efektivniji javni gradski prevoz. Većina gradova u svijetu se suočava sa problemima u saobraćaju, kao što su zakrčenje u vršnim satima („peak hour congestion“) i prekomjernim zagađenjem životne sredine. Autori nude dva rješenja za povećanje efikasnosti efektivnosti javnog prevoza kroz dostupnost tačnih informacija u stvarnom vremenu za putnike i mogućnost „ridesharing“-a (vozači koji su sami u automobilima mogli bi ponuditi prevoz drugim putnicima na istim relacijama).

Lan-bing Li i Jin-Li Hu (2011) modeliraju u svom radu željeznički prevoz u tri procesa: proces proizvodnje (ulazni i izlazni podaci), proces potrošnje (potrošnja/izlazni podaci) i proces zarade (zarada/potrošnja) stvarajući jedinstveni mult-fazni okvir za mjerenje performansi kineske željeznice od 1999. do 2008. godine. Prvo su koristili DEA model za ocjenu efikasnosti produktivnosti, efektivnosti potrošnje i efektivnosti zarade sa statističkog gledišta. Zatim su koristili Malmquist TFP (Total Factor Productivity) indeks za ocjenu produktivnosti proizvodnje, produktivnosti potrošnje i produktivnosti zarade sa dinamičke tačke gledišta. Takođe, su koristili prosječni kumulativni Malmquist TFP indeks kako bi ocijenili uticaj reforme sistema upravljanja na kineskim željeznicama na željeznički transport u 2005. godini.

Pedro Cantos, José Manuel Pastor i Lorenzo Serrano (2012) istražili su učinke mjera deregulacije i restrukturiranja u sektoru evropske željeznice. Oni procjenjuju nivoe efikasnosti (na uzorku podataka 23 evropskih nacionalnih željezničkih sistema od 2001-2008. godine) koristeći alternativne pristupe. Oni takođe procjenjuju uticaje reformi na nivoe neefikasnosti i došli su do zaključka da su rangovi slični, i da je najbolji način za podsticanje povećanja efikasnosti uvijek kombinacija vertikalne i horizontalne reforme u željezničkoj industriji.

Shahid i Whisson (2012) su razvili metodologiju za efikasnost operatera u industriji hrane. Metodologija se zasniva na upitnicima na koje su anonimno odgovarali operateri u industriji hrane i potrošači.

Jianjun (2012) analizira neefikasnosti u proizvodnji i ističe da u željezničkom transportu postoji potreba za uvođenjem ekonomične proizvodnje i to mijenjanjem načina organizacije transporta tako što poboljšava interne ugovorne odnose i optimizaciju poslovne organizacione strukture, racionalno korištenje resursa, a i ekonomski značajno poboljšava efikasnost i efektivnost stvaranjem novog načina ekonomične organizacije željezničkog transporta.

U radu (Nedeljković i Drenovac, 2012), pokazano je kako može da se integriše teorija fazi skupova i DEA, tj. da se izvrši rješavanje DEA modela sa fazi podacima. Ovaj pristup je predložen za slučajeve kada treba da se izračunaju ocjene tehničke efikasnosti posmatranih jedinica odlučivanja koje su okarakterisane sa nepreciznim ulaznim i izlaznim podacima. Autori su napomenuli da se saobraćaj i transport odvijaju u neizvjesnom okruženju, pa zbog toga ulazni i izlazni podaci mogu biti neprecizni. Iz tog razloga ovaj pristup može biti koristan upravo za ovu oblast. Predloženi pristup za rješavanje fazi DEA modela se zasniva na mjeri mogućnosti. U specijalnom slučaju, kada su funkcije pripadnosti fazi podataka trapezoidnog oblika, ovim pristupom se fazi DEA model transformiše u model linearnog programiranja.

Bogart i Chaudhary (2013) analizirali su trendove u performansama Željeznica Indije, efekte vlasništva i regulatornih politika, kao i uticaj željeznice na ekonomiju Indije. Autori su došli do zaključka da su garancije na dividende i vlasništvo vlade imali uticaja na performanse željeznica. Tu su još i veća integracija na tržište i nacionalni dohodak koji bi se mogli iskoristiti za podsticanje ekonomskog razvoja u Indiji.

Ingo A. Hansen et. al, (2013) u radu daju benčmark analizu željezničkih mreža i operatera, podstaknuti evropskom politikom deregulacije transportnog tržišta, otvaranjem nacionalnih željezničkih tržišta i razdvajanjem infrastrukture i operatera. Oni koriste sveobuhvatni pristup za benčmark analizu koja uključuje relevantne tehničke i ekonomske ključne kriterijume i indikatore za ocjenu efektivnosti, efikasnosti i produktivnosti željezničkih mreža i operatera. Na primjeru 11 srednjih evropskih željezničkih mreža i operatera a pomoću parametričkog sistema i analize regresije kao i DEA metode, primjenjenih na ključne indikatore za ispitivanje efikasnosti i efektivnosti, autori dolaze do zaključka da postoje strukturni nedostaci u trenutnoj UIC bazi podataka posebno vezano za teretni transport, neto tonske km i regionalni putnički transport.

Johan Holmgren (2013) ocjenjuje efikasnost poslovanja operatera javnog prevoza u Švedskoj koristeći analizu stohastičkih granica sa godišnjim podacima od 1986. do 2009. godine za 26 švedskih kompanija. On je primijetio da je ekonomičnost troškova kao odnos minimalnih troškova i posmatranih troškova, ukupna (prosječna) efikasnost troškova za industriju pala sa 85,7 posto u osamdesetim godinama na 60,4 posto u periodu od 2000. do 2009. Moguća

objašnjenja za razvoj su povećani naglasak na gustinu pravaca kao i veći ekološki i sigurnosni zahtjevi.

Merkert i Williams (2013) za mjerenje efikasnosti obaveza javnog prevoza u vazdušnom saobraćaju u 18 evropskih zemalja definišu metodologiju koja se bazira na dvofaznom DEA (Data Envelopment Analysis) pristupu. DEA metodu su razvili Charnes, Cooper i Rhodes (1978), da bi mjerili efikasnost poslovanja organizacionih jedinica i to prije svega onih koje ne stvaraju profit. Takođe, DEA analizu u cilju istraživanja odnosa između menadžerskih odluka i ekonomskih indikatora u javnom prevozu, kao što su efikasnost i efektivnost koriste Costa i Stanislau (2014).

Azadeh i Salehi (2014) definišu metodologiju baziranu na DEA analizi u cilj da se ispita efikasnost upravljača i operatera i da se definišu nedostaci. Autori navode da nivo izdržljivosti sistema zavisi od količine nedostataka. Što su manji nedostaci u funkcionisanju između operatera i upravljača (što je manji jaz između njih), performanse preduzeća će biti efikasnije u smislu izazova i poteškoća u stvarnom radu.

Andriulo i Gnoni (2014) predlažu metodološki okvir za ispitivanje globalne efikasnosti sistema upravljanja „near miss events“ (događajima koji su mogli dovesti do nesreće). Model je zasnovan na pristupu racionalne bezbjednosti („lean safety“), koji predstavlja globalnu strategiju za poboljšanje efikasnosti. Ovaj pristup zasnovan je na Deming ciklusu, a to je model konstantnog poboljšanja kvaliteta koji uključuje četiri koraka, a to su planiranje (plan), izvršenje (do), provjera (check), djelovanje (act), koji se stalno ponavljaju. Osim toga, primjenjuje se i koncept „lične odgovornosti“ - svaki zaposlenik u skladu sa svojim mogućnostima doprinosi poboljšanju performansi preduzeća.

Isabello i dr. (2014) u cilju povećanja efikasnosti međugradskog javnog transporta dizajnirali su sredstvo za vizuelnu analizu, korištenjem besplatne web aplikacije, uključujući geo-referentne dinamičke mape i omogućavajući korisnicima da vide i uspostave interakciju sa podacima u datoteci. Aplikacija je korištena da prikaže linije javnog prevoza na osnovu kombinacija interesnih pokazatelja (npr. broj usluga i km po jedinici vremena, broj putnika) ili njihovih karakteristika (referentna javna administracija, vrsta usluga, npr. dnevna, školski prevoz i pijačni dan). Ovaj metod se može primijeniti i na druge situacije i može simulirati različite scenarije.

Petukhov i Steshina (2015) opisuju novi metod procjene nivoa znanja operatera i nude novi pristup za određivanje individualne obuke. U te svrhe su izradili model stručne osposobljenosti na osnovu fuzzy logike. Model omogućava procjenu integralnog nivoa stručne osposobljenosti i definiše koje kvalitete treba razviti za efikasno i efektivno obavljanje profesije.

1.4. PREDMET I PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja ovog rada proističe iz potrebe država, bilo da su članice EU ili apliciraju za članstvo, da uspostave tržišne principe poslovanja u željezničkom sektoru. To se, prije svega, odnosi na liberalizaciju željezničkog tržišta i uvođenju većeg broja željezničkih prevoznika, a u kontekstu njenih reformi usaglašenih sa integracijom u Evropsku uniju i savremeno međunarodno transportno tržište. U užem smislu, predmet istraživanja fokusira pojam željezničkog operatera preko razvoja modela za utvrđivanje efikasnosti i efektivnosti

željezničkih operatera, posebno u procesu restrukturiranja evropskih željeznica, a zatim i testiranjem na konkretnom primjeru i izbor modela operatera za željeznički sektor BiH. Reforme željezničkog sektora kako u EU, tako i kod zemalja aspiranata za članstvo, imaju multifokalni karakter i neposredno su vezane i uslovljene potrebom rasta ekonomske efikasnosti ovog sistema. Naime, željeznica ima naročitu prednost: ona je bezbjedan, ekonomičniji i čist vid transporta; zato ima veliki potencijal u postizanju održivog razvoja transportnog sistema Evrope.

Direktiva 91/440/EEZ od 29.7.1991. o razvoju zajedničke željeznice je postavila novi institucionalni i organizacioni okvir željezničkog sistema. Ona nameće obavezno računovodstveno razdvajanje željezničkih preduzeća koja vrše usluge prevoza i upravljača infrastrukture. To je od presudnog značaja za konstrukciju transportne politike, usaglašene sa generalnim sistemom funkcionisanja EU. Iz nje su proistekle razvojne etape i performanse regulisanja željezničkog tržišta, a time i institucionalna rješenja izražena kroz modele upravljača infrastrukturom, željezničkih operatera i regulatornih tijela. Upravo je ovaj kompleksni proces u dijelu koji se odnosi na željezničke operatere predmet istraživanja ove disertacije.

Polazna osnova ovog procesa bila je: povećanje kvaliteta i obima usluga i smanjenje troškova poslovanja samih operatera, a i vlasti (na državnom, regionalnom i lokalnom nivou) prilikom planiranja i realizacije usluga obaveze javnog prevoza. Imajući u vidu da je većina željezničkih uprava bila organizovana na nacionalnom nivou, a da su pri tome imali monopolski položaj na nacionalnom željezničkom tržištu, kao logično rješenje nametnulo se uvođenje jedinstvenog željezničkog tržišta i konkurencije na njemu. Da bi se sprovela liberalizacija željezničkog tržišta, a na taj način uvela konkurencija, postojeće željezničke kompanije morale su da se reformišu i transformišu. Proces transformacije išao je u pravcu razdvajanja na najmanje dvije funkcije, a to su: "upravljanje infrastrukturom" i "transport". Upravljanje infrastrukturom vrši "upravljač infrastrukture", a transport obavlja jedno ili više "transportnih preduzeća (prevoznika)" ili "operatera". Operateri obavljaju javni prevoz robe i/ili putnika, kao i prevoz za sopstvene potrebe. Sama preduzeća mogu da budu organizovana kao nacionalni, regionalni ili lokalni operateri, privatna, ali i na principu PPP ("Public-Private Partnership" – partnerstvo privatnog i javnog kapitala).

Bijela knjiga "Evropska transportna politika za 2010: vrijeme odlučivanja" ističe da je za uvođenje efikasnog, čistog i sigurnog robnog i putničkog transportnog sistema neophodan odgovarajući, dinamičan, željeznički sistem koji će neposredno doprinijeti stvaranju i razvoju jedinstvenog evropskog tržišta. U ekonomskom i tehničko-tehnološkom smislu, ovakav strateški pravac opravdan je činjenicom da je nekadašnje propadanje evropskih željeznica uveliko bilo uslovljeno načinom njihovog organizovanja, kao i nacionalnim i monopolističkim logikama i djelovanjima.

U odsustvu konkurencije na nacionalnim mrežama željeznička preduzeća nisu bila prinuđena na inicijativu smanjivanja svojih operativnih troškova i razvoja novih usluga. Tako, ova preduzeća nisu ostvarivala dovoljan prihod da pokriju sve troškove, pokrenu ili održe neophodne investicije. Zato su države bile prinuđene da to čine, ali u skladu sa mogućnostima i ekonomskom politikom. Kao rezultat ovakvog stanja javila se velika zaduženost željezničkih preduzeća, koja je imala negativan uticaj na njihov razvoj.

"Politika revitalizacije željezničkog sistema" pokreće podsticanje standardizacije i tehničke harmonizacije sa ciljem postizanja pune interoperabilnosti evropske željezničke mreže. Došlo

je do zamašne finansijske podrške u okviru programa TEN-T (Trans-European Transport Network) i strukturnih fondova, koja obuhvata aktivnosti od postepenog uvođenja uslova za podsticanje do zaštite i očuvanja konkurencije na željezničkom transportnom tržištu.

Postepeno otvaranje željezničkog transportnog tržišta počelo je sa liberalizacionim paketom usvojenim 2001. godine i primjenom na TEN-T od 15.3.2003., što je prvi korak prema otvaranju evropskog željezničkog tržišta, i izlaganju konkurenciji međunarodnog željezničkog teretnog saobraćaja na nivou EU.

Drugi korak prema otvaranju željezničkog tržišta EU predstavlja drugi paket donijet 2004., što predstavlja dalje otvaranje tržišta za međunarodni teretni saobraćaj, koje je djelimično počelo sa primjenom 1.1.2006., a u potpunosti i za željezničku kabotažu od 1.1.2007. godine.

Treći korak ka otvaranju tržišta predstavlja treći paket iz 2007. godine, a odnosi se na međunarodni željeznički putnički saobraćaj, čime je otvoreno ovo tržište počev od 1.1.2010. godine.

Četvrti korak prema potpunoj liberalizaciji tržišta predlaže promjene za poboljšanje funkcionisanja jedinstvenog evropskog željezničkog prostora i veću usklađenost tehničkih propisa iz područja željeznice s obzirom na bezbjednost i na tehničke aspekte koji uključuju interoperabilnost. Donesena je Direktiva 2012/34/EC kojom se uspostavlja jedinstveni evropski željeznički prostor za povećanje evropske konkurentnosti i rasta. Evropska Komisija je u januaru 2013. usvojila skup od šest zakonodavnih prijedloga pod nazivom „četvrti željeznički paket”, s ciljem stvaranja jedinstvenog evropskog željezničkog prostora i poboljšanja interoperabilnosti. U sklopu ovog Paketa želi se najkasnije do decembra 2019. omogućiti konkurentima sklapanje ugovora o pružanju javnih usluga na domaćem tržištu, s ciljem poboljšanja kvaliteta i efikasnosti nacionalnih usluga prevoza putnika. Četvrti željeznički paket, ublažava prethodnu strogu opredijeljenost da se nacionalne kompanije razdvoje na dva nezavisna subjekta (infrastrukturu i prevoz). Novim paketom se dozvoljava da infrastruktura i prevoz budu u jednom društvu (holdingu) koji će imati nezavisne račune i odvojeno upravljanje. Upravo takva mjera može da utiče i na mjerenje efektivnosti i efikasnosti a i na sam način razvoja operatera.

U doktorskoj disertaciji daće se odgovor na sljedeća pitanja: Kako organizovati upravljanje željezničkim operaterom? Na koji način izvršiti izbor ključnih elemenata za vrednovanje efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera? Koje parametre i kriterijume treba uzeti u obzir prilikom definisanja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera? Kako definisati kriterijume i kako ih kvantifikovati i vrednovati? Kako utvrditi uzajamnu vezu kriterijuma?

1.5. CILJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj je da se kroz sistemski pristup, naučno sagleda kako istražiti i analizirati sve relevantne karakteristike o stepenu razvijenosti željezničkih operatera zemalja EU, zemalja u okruženju u odnosu na željezničke operatere u BiH kako bi se razvio model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koji bi bio u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti i uključivanja istih u transportni sistem Evropske unije. Razvoj modela efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera treba da doprinosi procesu restrukturiranja željezničkom

sistemu i integrisanje njenih željeznica u savremene tokove u ovoj oblasti, a treba da bude ostvaren kroz:

- sistemski pristup problemu gdje će prvo biti sagledani reformski procesi u ovoj oblasti kao i ključna dokumenta;
- iskustva željezničkih operatera drugih zemalja odnosno željezničkih operatera u Evropi;
- definisanje potrebnih elemenata za vrednovanje efikasnosti i efektivnosti za razvoj željezničkih operatera;
- razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera;
- testiranje modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera u cilju verifikacije modela.

Na osnovu predmeta i problema, ciljeva istraživanja postavljene su osnovne i pomoćne hipoteze istraživanja i definisana metodologija istraživanja.

1.6. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Otvaranjem željezničkog sektora tržišnoj konkurenciji željeznički operateri primorani su da se ponašaju kao i sva druga savremena preduzeća na drugim tržištima i u drugim industrijama, što znači da moraju konstantno razvijati i održavati konkurentske prednosti, odnosno da budu bolja od drugih. U današnjim konkurentski vrlo intenzivnim uslovima to je i najteže postići. Pred željezničkim operaterima je postavljen izazov koji podrazumjeva pronalaženje optimalnih rješenja da posluju efikasno i efektivno, da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da razviju i održavaju svoje konkurentske prednosti. Mjerenje i unaprijeđenje efikasnosti i efektivnosti rada željezničkog operatera je preduslov uspješnog poslovanja i opstanka na tržištu.

U ovoj disertaciji pošlo se od ideje da se razvije model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koji bi bio u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti. U procesu unapređenja efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera mogu se postaviti brojne hipoteze.

Imajući u vidu prethodno navedeno, doktorska disertacija prilikom istraživanja polazi od sljedećih hipoteza:

H1: Efikasnost i efektivnost predstavljaju važan pokazatelj funkcionisanja željezničkih operatera.

H2: Brojni kriterijumi utiču na efikasnost i efektivnost željezničkih operatera.

H3: Pristup izbora ključnih kriterijuma za vrednovanje efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera nisu dovoljno istraženi.

H4: Povećanje prihoda, kvaliteta i obima usluga i smanjenje troškova poslovanja samih operatera može se unaprijediti primjenom odgovarajućeg modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti.

Postavljene hipoteze impliciraju i pomoćne hipoteze:

PH1: Željeznice su izrazito kompleksan i dinamičan sistem koji čine brojni podsistemi različitih struktura i specifičnosti zbog čega je neophodno definisati sve bitne kriterijume koji mogu uticati na efikasnost i efektivnost željezničkih operatera.

PH2: Da bi model bio uspješno implementovan, neophodno je detaljno analizirati trenutni stepen razvijenosti željezničkih operatera u EU i zemljama u okruženju.

1.7. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera pored opštih naučnih metoda istraživanja (analiza, sinteza, indukcija, dedukcija i analogija), u postupku realizacije korišćene su različite metode i tehnike kao što su: Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces (FAHP), analiza obavijanja podataka (Data Envelopment Analysis – DEA) i Fuzzy logika. Samo istraživanje sprovedeno je u više faza (Slika 1.1.).

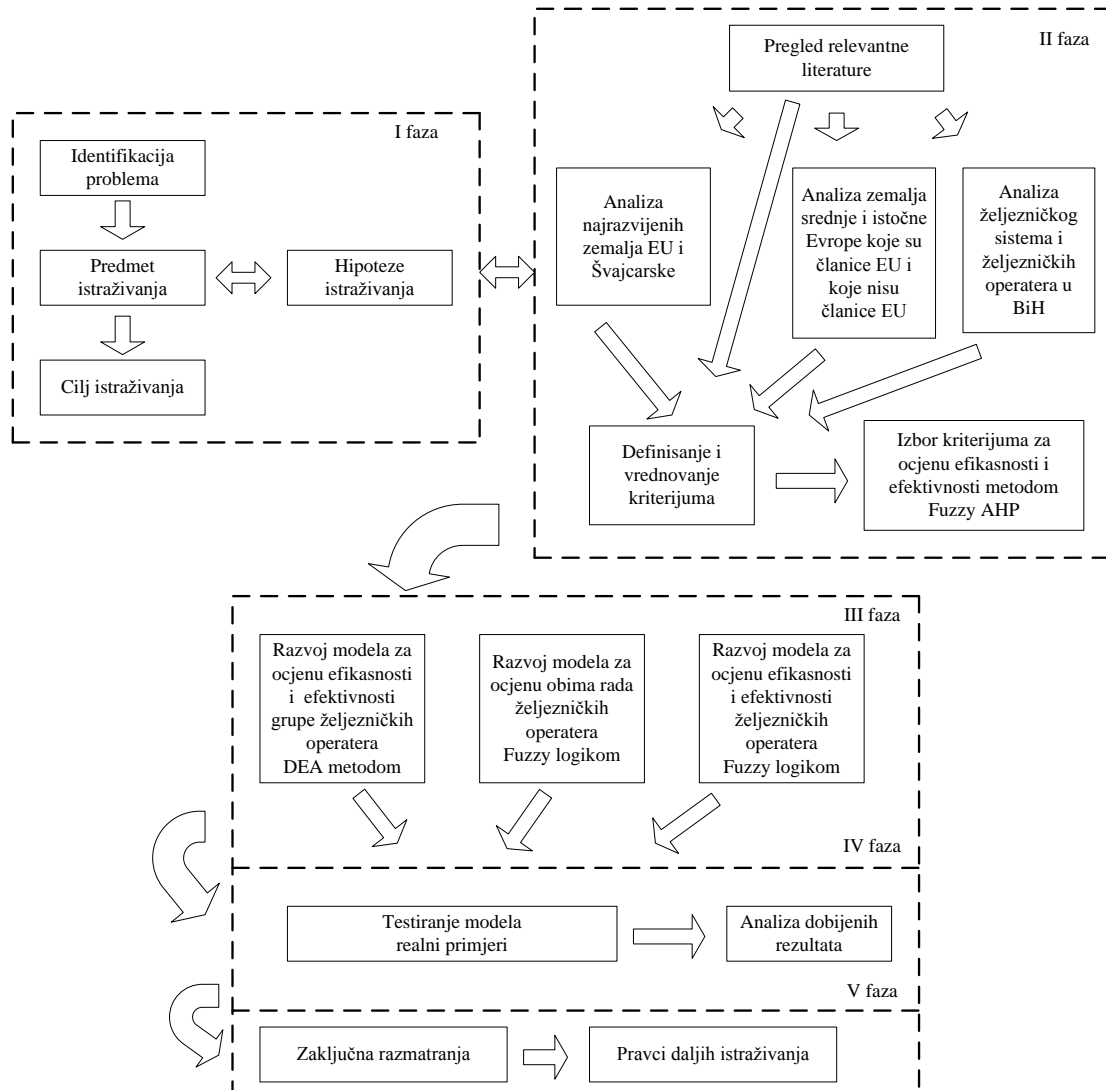
Prva faza istraživanja realizovana je kroz više međusobno uslovljenih koraka. Početni korak u ovoj doktorskoj disertaciji predstavlja identifikacija problema. Nakon identifikacije problema i utvrđivanja značaja efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera definisan je predmet istraživanja. U skladu sa predmetom identifikovani su ciljevi istraživanja. Kao rezultat prve faze istraživanja postavljene su osnovne i pomoćne hipoteze.

U drugoj fazi istraživanja izvršeno je proučavanje literature, naučnih i stručnih informacija o željezničkom sistemu, kao i odgovarajuće regulative EU i Bosne i Hercegovine. Analizirana su željeznička preduzeća u kontekstu restrukturiranja i izvršena je analiza funkcionisanja željezničkih operatera u zemljama EU, zemljama u okruženju i u BiH. U ovoj fazi su sagledani i aspekti mjerenja efikasnosti, kao i korišćeni kriterijumi. Na osnovu stanja u literaturi i praksi, identifikovani i raščlanjeni su problemi efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Jedan od glavnih problema rješavan u ovoj fazi jeste problem ocjene efikasnosti i efektivnosti uz prisustvo velikog broja kriterijuma (problem izbora kriterijuma). U svrhu definisanja i vrednovanja kriterijuma izvršeno je istraživanje najčešće korišćenih kriterijuma za efikasnost i efektivnost željezničkih preduzeća iz dostupne literature. Dodatne poteškoće u tretiranju ovih zadataka predstavljaju međusobni uticaji i uslovljenost pomenutih kriterijuma. Tako, na primjer, problem izbora kriterijuma, koji predstavlja početni problem, u situaciji konfliktnih ciljeva, nivoa mjerenja efikasnosti dobija dodatno na značaju. Za izbor prioriternih kriterijuma eksperimentisano je sa jednom od najpopularnijih metoda za donošenje odluka danas - Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces (FAHP), a to potkrepljuju dosadašnja iskustva iz literature da ovakve probleme treba rješavati metodama višekriterijumskog odlučivanja.

Treća faza predstavlja "jezgro istraživanja". U ovoj fazi su rješavani prethodno definisani problemi ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. U prvom dijelu su objašnjene teorijske osnove DEA metode koja je korišćena za razvoj modela, a zatim je razvijen model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti grupe željezničkih operatera. U drugom dijelu su objašnjene teorijske osnove Fuzzy logike koja je korišćena za razvoj modela. Nakon toga razvijeni su modeli za ocjenu obima rada i ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koji u velikoj mjeri mogu pomoći procesu restrukturiranja željezničkog sistema u BiH i bili u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti željezničkih operatera.

U četvrtoj fazi izvršeno je testiranje modela razvijenih u prethodnoj fazi na primjerima željezničkih operatera i operatera u BiH, odnosno željeznica Republike Srpske i izvršena analiza dobijenih rezultata.

Na samom kraju rada iznijeta su zaključna razmatranja, kao i pravci budućih istraživanja, dat je popis korišćene literature i prikazani su prilozi



Slika 1.1. Metodologija istraživanja

2. ANALIZA RADA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

Savremene željeznice predstavljaju poslovne sisteme koji se svojom veličinom i kompleksnošću ne mogu upoređivati gotovo niti s jednim drugim poslovnim sistemom. Nivo kompleksnosti upravljanja, na primjer materijalnom imovinom i ljudskim resursima gotovo je jedinstvena u poslovnom svijetu. U tom smislu, potpuno razumijevanje fenomena savremenih željeznica bez sistemskog, multidisciplinovanog i interdisciplinovanog pristupa apsolutno je nemoguće.

Da bismo otkrili kriterijume koji karakterišu efikasnost i efektivnost željezničkih operatera i sličnosti između njih, moramo da napravimo uporedni pregled određenih željezničkih operatera i te podatke sistematizujemo prema različitim kriterijumima. Navedene podatke možemo da podijelimo u više grupa i to: npr. osnovni geografski i ekonomski podaci određene zemlje, pokazatelji obima rada željezničkih operatera, raspoloživost mobilnih kapaciteta i dr.

U Prilogu A ove disertacije predstavljeni su podaci za određene zemlje i željezničke operatere po zemljama koje su članice EU, sa razvijenijim željezničkim saobraćajem, uključujući tu Švajcarsku i zemlje srednje i istočne Evrope koje su kasnije postale članice EU a i one koje nisu članice EU. Najveći broj podataka je preuzet iz godišnjih izvještaja željezničkih operatera i statistike UIC.

2.1. ANALIZA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZEMALJA EU SA NAJRAZVIJENIM ŽELJEZNIČKIM SAOBRAĆAJEM I ŠVAJCARSKE

Razvoj željezničkog sektora temeljna je smjernica evropskih transportnih politika. Evropske zemlje poput Austrije, Njemačke, Francuske, Belgije, Velike Britanije i Holandije uspješno razvijaju svoje željeznice, a samim tim i željezničke operatere. To je dovoljan znak da postoji način kako složena željeznička preduzeća pretvoriti i razviti u efikasna transportna preduzeća od šireg društvenog interesa. Pored već nabrojanih zemalja EU sa razvijenim željezničkim saobraćajem, može se posmatrati i Švajcarska koja nije članica EU ali takođe ima izrazito razvijen željeznički saobraćaj. S tim razlogom u analizu se krenulo od željezničkih operatera ovih zemalja.

2.1.1. ŽELJEZNIČKI OPERATERI AUSTRIJE

Republika Austrija postala je punopravna članica Evropske unije 1995. godine. Za željeznički sistem u Austriji brinu se: Savezno ministarstvo za saobraćaj, inovacije i tehnologiju, Regulatorna tijela (SCG - Schienen-Control GmbH i SCK - Schienen-Control Kommission), Upravljač infrastrukture koji je u ovom slučaju ÖBB infrastruktura, Društva za pruge visoke efikasnosti (HL-AG - Eisenbahn-Hoch-leistungs-Strecken-AG i BEG - Brenner-Eisenbahngesellschaft mbH), te nacionalni operater ÖBB, (ÖBB-Personenverkehr AG – obavljanje putničkog saobraćaja i Rail Cargo Austria AG – obavljanje robnog saobraćaja).

Ministarstvo je odgovorno za saobraćajnu politiku, dodjeljuje licence operaterima, izdaje sertifikate o vozilima, odobrava propise i odobrava korišćenje infrastrukture. SCG je regulatorno tijelo za nadzor tržišta i superviziju sistema. Unutar SCG djeluje posebno tijelo SCK koje zapravo predstavlja administrativni sud za sve sporove između operatera i korišćenja mreže, te tržišne konkurencije. Iako u Austriji ne postoje pruge za saobraćaj vozova velikih brzina, ipak su osnovana dva društva u vlasništvu države za razvoj i investiranje u nove pruge. HL AG je odgovorno za razvoj, planiranje i investiranje u nove pruge na području Austrije. BEG je društvo sa namjerom da gradi "Brenner" prugu odnosno Brenner bazni tunel.

Na austrijskom željezničkom tržištu licencirano je 26 željezničkih operatera, od toga 8 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 8 operatera za pružanje usluga transporta robe i 10 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe kako na mreži ÖBB infrastruktura tako i na vlastitoj mreži pruga.

Najveći željeznički operater na austrijskom tržištu željezničkog transporta putnika je **ÖBB Personenverkehr AG (ÖBB PV AG)**. Osnovan je 25.11.2004. godine i dobio je licencu za pružanje usluga transporta putnika od 1. januara 2005. godine. ÖBB Personenverkehr AG je društvo sa ograničenom odgovornosti u potpunom vlasništvu ÖBB-Holding AG. Republika Austrija je dioničar u ovoj kompaniji. Broj zaposlenih u ÖBB Personenverkehr AG je 7528. Broj prevezenih putnika je 460 miliona. U prilogu A predstavljeni su operativni pokazatelji obima rada željezničkog operatera.

Drugi najveći operater na austrijskom tržištu željezničkih usluga je **Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH (GKB)**. Osnovan je 24.8.2004. godine i dobio je licencu za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe 14.9.2004. godine. U Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH (GKB) transport putnika porastao je prošle godine za oko 5,8 miliona putnika i tim je ova kompanija postala druga najveća u Austriji po broju prevezenih putnika.

2.1.2. ŽELJEZNIČKI OPERATERI BELGIJE

Belgija je članica Evropske unije od 1957. godine. Donošenjem novog Zakona o željeznici 21. marta 1991. godine počinju reforme željezničkog sektora u Belgiji. Željezničko preduzeće Societe Nationale des Chemins de fer beiges (SNCB/NMBS) prolazi kroz značajne promjene uglavnom kao odgovor evropskim direktivama. 1. januara 2005. godine, SNCB je podijeljen na tri kompanije, od kojih svaka ima jednak položaj u odnosu na državu:

- SNCB-Holding zaduženo za opšte usluge, nekretnine i upravljanje osobljem cijele grupe,
- SNCB zaduženo za putnički i teretni transport (državni i međudržavni) i
- Infrabel, zaduženo za upravljanje infrastrukturom.

Svaka od ovih kompanija je samostalno javno preduzeće sa statusom društva s ograničenom odgovornošću. Sve tri kompanije su u vlasništvu države osim Holding kompanije, koja ima nekoliko privatnih dioničara koji posjeduju oko 0,1% akcija, ali čije je vlasništvo kapitala neznatano.

SNCB-Holding je matična kompanija Infrabela i SNCB. Vlasnik je 100% kapitala SNCB-a i 93,6% kapitala Infrabel-a (ostatak je u vlasništvu države, koja ipak ima 80% glasačkih prava plus jedan glas). Obavlja gotovo u potpunosti aktivnosti javnog servisa. To uključuje vlasništvo i upravljanje njegovih udjela u kapitalu Infrabel-a i SNCB-a, osiguravajući sigurnost i bezbjednost željezničkog transporta, kao i nabavku, izgradnju, održavanje i upravljanje većine željezničkih stanica Belgije, kao i očuvanje istorijske imovine koja se odnosi na željeznički transport. Osim toga, holding kompanija je zadužena za koordinaciju između tri grupe kompanija koja se odnosi posebno na investicije i IT mrežu.

SNCB-Holding je poslodavac za sve grupe osoblja, koje pruža svojim podružnicama. U 2010. godini, u holding kompaniji je bilo 36.500 zaposlenih (ekvivalent punog radnog vremena), od čega je 54% radilo za operatera, SNCB. Pored svojih aktivnosti pružanja javnih usluga, holding kompanija obavlja određene komercijalne aktivnosti, kao što su zakup zemljišta i zgrada, i upravljanje koncesijama koje se dodjeljuju u željezničkom sektoru.

SNCB je podijeljen na SNCB Mobility koji obavlja unutrašnji transport putnika, SNCB Europe koji obavlja međunarodni transport putnika i SNCB Logistics koji obavlja transport robe. SNCB je najveći operater na domaćem tržištu željezničkog putničkog saobraćaja u Belgiji. Na međunarodnim komercijalnim pravcima razvila se konkurencija sa raznim operaterima koji su ušli na tržište: Thalys i DB/ICE vrše komercijalni međunarodni saobraćaj u kooperaciji sa SNCB, a od 2010. godine Eurostar International vrši međunarodni saobraćaj kroz Belgiju.

Upravljač infrastrukture Infrabel je član SNCB grupe i pruža usluge u okviru SNCB holding kompanije, koja ima 92,66% vlasništva nad infrastrukturom. U periodu od 2005 – 2007. godine Infrabel je u željezničku mrežu investirao više od 3,3 milijardi € u cilju modernizacije i povećanja kapaciteta Belgijske željezničke mreže.

Liberalizacija željezničkog tržišta Belgije bila je postepena, prvo je liberalizovano tržište teretnog saobraćaja i to od 01. januara 2007. godine; a putničkog od 01. januara 2010. godine. SNCB je bio jedini licenciran željeznički operater do 2003. godine na željezničkom tržištu Belgije. U 2004. godini ulaze i drugi operateri, a prvi koji je postao konkurencija SNCB bio je Dillen i Le Jeune Cargo (DLC, sada Crossrail). Danas je na belgijskom željezničkom tržištu licencirano 10 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog prevoza, a od toga 2 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 6 operatera za pružanje usluga transporta robe i 2 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe. Pokazatelji obima rada operatera SNCB prikazani su u prilogu A ove disertacije.

2.1.3. ŽELJEZNIČKI OPERATERI VELIKE BRITANIJE

Velika Britanija je članica Evropske unije od 1973. godine. Željeznički sistem Velike Britanije čine:

- Ministarstvo transporta (Department for Transport – DfT);
- Upravljač infrastrukture – kompanija “Željeznička mreža” (Eng.: Network Rail);
- Kompanije za iznajmljivanje lokomotiva i putničkih kola (Eng.: Rolling Stock Leasing Company – ROSCO);
- Operateri u putničkom saobraćaju (Eng.: The Association of Train Operating Companies – ATOC);
- Grupacija za transport robe željeznicom (Eng.: Rail Freight Group – RFG);
- Regulatorni organ (Eng.: The Office of Rail Regulation – ORR);
- Nadzorno tijelo korisnika (potrošača) putničkih usluga (Eng.: Passenger Focus).

Reforma Britanskih željeznica (British Railways – BR) započela je donošenjem zakona o željeznici 1993. godine. One su imale najbrže restrukturiranje. Funkcionisale su kao integrisano državno preduzeće do 1994. godine. Od 1994. do 1997. god. izvršene su suštinske promjene u željezničkom sistemu Velike Britanije koje spadaju u najradikalnije. U tom periodu najveći dio aktivnosti Britanskih željeznica je privatizovan. Osniva se nova kompanija Railtrack u potpunom vlasništvu Vlade, kojoj je prenijeta većina imovine željezničke infrastrukture. Ubrzo, kompanija je prodana putem javne ponude. Usluge koje su bile vezane za infrastrukturu, istovremeno, su reorganizovane i prodane. Pojavile su se šest kompanija koje su se bavile rekonstrukcijom i sedam održavanjem željezničke infrastrukture.

Grupaciju RFG čine 150 kompanija: kupci željezničkih usluga, logistički provajderi, dobavljači, operateri u terminalima i lukama i operateri za teretni saobraćaj. Cilj grupacije je osvajanje transportnog tržišta pružanjem jeftinog i kvalitetnog transporta robe željeznicom (Stojić, 2010.).

Organ ORR je nezavistan bezbjednosni i ekonomski regulator britanskog željezničkog sistema. Organom upravlja Odbor direktora koji je imenovan od strane Državnog sekretara za transport. Izdaje licence za pružanje usluga transporta željezničkim operaterima za transport putnika i transport robe i licence za upravljanje željezničkom infrastrukturom. Nadzorno tijelo korisnika je nezavisno nacionalno tijelo čiji je osnovni zadatak zaštita interesa putnika u Velikoj Britaniji.

Velika Britanija se smatra zemljom koja je otišla najdalje u privatizaciji željeznice. Ali tokom vremena pokazalo se da njena privatizacija nije unaprijedila ove sektore, već je izazvala katastrofalne efekte. Međutim, država je počela da izdvaja veća sredstva za željezničku infrastrukturu, za subvencije operaterima za transport putnika i pooštrila je regulativne mjere. To je omogućilo povećanje obima transporta putnika i robe, obnavljanje voznog parka, unaprijeđenje sistema informisanja putnika i smanjenje cijena transporta.

Na britanskom željezničkom tržištu licencirano je 30 željezničkih operatera, od toga 23 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 6 operatera za pružanje usluga transporta robe i 1 operater za pružanje usluga transporta putnika i robe kako na mreži Network Rail tako i na vlastitoj mreži pruga.

Najveći operater na britanskom tržištu željezničkog transporta putnika je Association of Train Operating Companies Limited (ATOC Ltd). Osnovan je 22.9.2003. godine i dobio je licencu za pružanje usluga transporta putnika od 29. septembra 2003. godine. U prilogu A predstavljeni su pokazatelji obima rada željezničkog operatera.

2.1.4. ŽELJEZNIČKI OPERATERI NJEMAČKE

Reforme željezničkog sistema Njemačke počinju 1994. godini, kada se dva bivša državna željeznička preduzeća "Deutsche Bundesbahn" i "Deutsche Reichsbahn" transformišu u preduzeće "Deutsche Bahn AG" (DB AG, Njemačka željeznička korporacija), koje je, u skladu sa članom njemačkog Ustava, trebalo biti organizovano kao akcionarsko društvo sa opcijom privatizacije. Istovremeno, željezničko transportno tržište u Njemačkoj je bilo otvoreno za konkurenciju. Nediskriminirajući slobodan pristup mreži infrastrukture je omogućen svim njemačkim željezničkim preduzećima bez restrikcija, kao i preduzećima iz država članica Evropske unije, u skladu sa direktivom 91/440/EEC, koja je prenesena u njemački zakon.

Deutsche Bahn AG (DBAG) je 1999. godine transformisan u holding, a sva vozna sredstva, osoblje i imovina podijeljeni su na 5 podružnica:

- DB Reise & Touristik AG – transport putnika u daljinskom saobraćaju (nacionalnom i međunarodnom), kasnije preimenovana u DB Fernverkehr AG;
- DB Regio AG – regionalni transport putnika u okviru federalnih država;
- DB Cargo AG – transport tereta kasnije preimenovan u Railion AG;
- DB Netz AG – upravljanje pružnom infrastrukturom;
- DB Station & Service AG – upravljanje željezničkim stanicama.

Sve dionice DBAG su i dalje u državnom vlasništvu, iako je bila planirana privatizacija do 2008. godine. Početkom 2008. godine bila je predviđena prodaja 25% DBAG, kasnije i više, s tim što bi država zadržala 51% vlasništva. Osim neslaganja Vlade i drugih političkih struktura oko modela privatizacije i veliki štrajkovi su poremetili privatizacione planove.

U suštini DBAG je svoje poslovanje podijelio na tri glavne grupe u okviru kojih postoje brojne filijale. Sve ove filijale su samostalne kompanije, iako većina njih su 100% u vlasništvu DBAG. Glavne grupe poslovanja su:

- DB Bahn Passenger travel – grupa poslova koja se odnosi na transport putnika;
- DB Schenker Transport and logistics – grupa poslova koja se odnosi na transport robe i logistiku;
- DB Netze Infrastructure and services – grupa poslova koja se odnosi na infrastrukturu i odnosne usluge.

Grupu DB Bahn Passenger travel čine:

- DB Regio (regionalni transport putnika u okviru federalnih država);
- DB Fernverkehr (transport putnika u daljinskom saobraćaju – bivša DB Reise & Touristik);
- DB AutoZug (Autovozovi);
- DB Stadtverkehr (transport putnika u gradskim područjima – brzi tranzitni sistem, metro, tramvaji i autobusi);

- DB Vertrieb (prodaja – bivši Service Center Vertrieb);
- Autokraft GmbH (autobuski transport) i dr.

Grupu DB Schenker Transport and logistics čini Schenker AG sa filijalama Stinnes AG, BAX Global i Railion.

U njemačkom željezničkom sistemu 1994. godine osnovana je Savezna direkcija za željeznice (EBA) koja ima ulogu regulatornog tijela. Osim toga, izdaje licence željezničkim preduzećima vodeći računa o pouzdanosti, stručnosti osoblja i finansijskim sposobnostima, interveniše u slučaju kada upravljač infrastrukture odluči da zatvori neku prugu iz ekonomskih razloga analizirajući javni interes te pruge, ispituje vanredne događaje u cilju utvrđivanje odgovornosti, tehničkih i organizacionih propusta kao i u cilju preduzimanja preventivnih mjera, kontroliše transport opasnih materija i predmeta.

Na njemačkom željezničkom tržištu licencirano je 425 željezničkih operatera, od toga 65 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 116 operatera za pružanje usluga transporta robe i 244 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe kako na mreži DB Netz AG infrastruktura tako i na vlastitoj mreži pruga.

Najveći željeznički operater na njemačkom tržištu željezničkog transporta putnika i transporta robe je **Deutsche Bahn AG** (DB AG) koji funkcionira kao holding kompanija. U okviru holdinga nalaze se i upravljači infrastrukture i operateri. Licencu za pružanje usluga transporta putnika i robe dobio je 24. novembra 2004. godine. Pokazatelji obima rada operatera prikazani su u prilogu A.

Jedan od većih željezničkih operatera u transportu robe u Njemačkoj je **CFL Cargo Deutschland**. Podružnica CFL Cargo nalazi u se Flensburgu, u blizini dansko-njemačke granice, a upravlja regionalnim željezničkim teretnim saobraćajem u Njemačkoj, kao i međunarodnim željezničkim saobraćajem u susjednim istočnim zemljama. Osim toga, CFL Cargo Deutschland saraduje sa CFL Cargo Danska za pružanje usluga prevoza tereta u prekograničnoj regiji. Kompanija je osnovana 2006. godine, a licencu za pružanje usluga transporta robe dobila je 2. juna 2006. godine. Posjeduje Potvrdu o bezbjednosti za Njemačku. Broj zaposlenih je 620 u 7 kompanija i 5 zemalja, posjeduje 6 potvrda o bezbjednosti u 6 zemalja (BE, DE, DK, FR, LU, SE), ima više od 40 kombinovanih voznih polazaka sedmično i više od 150 međunarodnih konvencionalnih vozova sedmično. Imalac je 70 lokomotiva i više od 4000 teretnih kola.

2.1.5. ŽELJEZNIČKI OPERATERI FRANCUSKE

Restrukturiranje željezničkog sektora u Francuskoj počinje februara 1997. godine kada je izvršena transformacija francuske nacionalne željezničke kompanije SNCF (Société Nationale des Chemins de fer Français). Iste godine formirano je preduzeće Réseau Ferré de France (RFF) koje je vlasnik i upravljač francuske željezničke mreže. Odgovorno je za regulisanje saobraćaja, održavanje, modernizaciju i razvoj željezničke mreže. Takvom transformacijom SNCF se oslobodio infrastrukturnih troškova. Jedino su stanični objekti na željezničkoj mreži

ostali u vlasništvu SNCF – a. Obavljanje javnog transporta putnika i robe je preuzeo SNCF, a za korišćenje željezničke infrastrukture plaća naknadu RFF – u.

Današnji željeznički sistem Francuske čine: Ministarstvo za ekologiju, energetiku i održivi razvoj i prostorno planiranje, sa odgovornošću za transport, Nacionalno bezbjednosno tijelo (EPSF), Komisija za regulisanje željeznice (regulatorno tijelo), upravljač infrastrukture RFF i operater SNCF Group.

Ozbiljnija kretanja ka liberalizaciji francuskog željezničkog tržišta počela su nakon donošenja prvog paketa nadgradnje Evropskih Direktiva 2001. godine. Do ugradnje prvog paketa u francusku željezničku regulativu, 2003. godine, korišćenje željezničke mreže u Francuskoj bilo je ograničeno samo na međunarodne grupacije željezničkih preduzeća i prekogranične vozove za kombinovani saobraćaj. Te godine i drugim operaterima je omogućen slobodan pristup Transevropskoj mreži pruga za prevoz robe kroz Francusku (TERFN). RFF je započeo sa prodajom željezničkih trasa 2003. godine, a 2005. i 2006. godine željezničko transportno tržište je potpuno otvoreno za robni saobraćaj (Stojić, 2010.).

Grupa SNCF (SNCF Group) je jedan od evropskih lidera u transportu putnika i tereta. Predstavlja holding društvo koje ima 46 preduzeća ili grupe preduzeća. Oblasti poslovanja grupe su: robni transport i logistika, transport putnika na dugim relacijama u Francuskoj i Evropi, javni transport putnika vozovima, autobusima, tramvajima i metroom, infrastruktura u korist RFF – a. Pokazatelji obima rada operatera prikazani su u prilogu A.

Upravljač RFF i operater SNCF imaju poseban sporazum po kojem SNCF dobija godišnje paušale za obavljanje sljedećih zadataka: organizacija saobraćaja na cijeloj željezničkoj mreži, izrada reda vožnje, upravljanje saobraćajem vozova i bezbjednosnim sistemima, redovno održavanje i popravka bezbjednosnih sistema i preduzimanje drugih potrebnih mjera za bezbjedno odvijanje saobraćaja.

Na francuskom željezničkom tržištu licencirano je 17 željezničkih operatera, od toga 3 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 9 operatera za pružanje usluga transporta robe i 5 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe kako na mreži Société Nationale des Chemins de fer français Réseau (SNCF Réseau) infrastruktura tako i na vlastitoj mreži pruga.

2.1.6. ŽELJEZNIČKI OPERATERI HOLANDIJE

Željeznički sektor u Holandiji je još od 1990-ih godina prolazio kroz neprekidne promjene. Vremenom su se promijenili stavovi o krajnjim ciljevima za njegovu organizaciju. Zakoni EU o otvaranju tržišta u teretnom saobraćaju bili su jedna od pokretačkih sila kojima je započeo proces restrukturiranja željezničkog sektora u Holandiji. Direktiva 91/440 je nalažala administrativno razdvajanje infrastrukture i transporta putnika i robe. Ovaj prvi korak je imao za cilj da se omogući konkurencija na prugama u okviru teretnog saobraćaja.

Godine 1992., Vajfels komitet, kojeg je imenovao ministar transporta, radio je na primjeni novih pravila EU i projektovao novi odnos između željezničkog preduzeća i države. Glavna zamisao ove reforme je bila da transport putnika treba postati nesubvencionisana komercijalna

djelatnost, a izgradnja i održavanje željezničke infrastrukture ostati u nadležnosti vlade. Preduzeće Holandske državne željeznice (NS) je reorganizovano u skladu sa preporukama ovog komiteta.

Reforma željeznica u Holandiji je započela 1995. godine sa ciljem da se poveća tržišni udio željeznica u ukupnom transportu i sa namjerom da se rastereti državna kasa. Preduzeća koja pripadaju NS-u su podijeljena 1995. godine (u okviru NS holdinga) u nekoliko posebnih preduzeća, od kojih je svako imalo vlastiti račun.

Ova podjela je rezultovala sa organizacionim razdvajanjem između komercijalnih djelatnosti kao što su: transport putnika, eksploatacija željezničkih stanica i razvoj nekretnina; i djelatnosti infrastrukture i razvoj i održavanje infrastrukture. Ove druge djelatnosti su povjerene tzv. „operativnim organizacijama“. Ove tri operativne organizacije koje su formirane 1995. godine bile su sljedeće: Railned, NS Kontrola saobraćaja (NS Verkeersleiding) i NS Uprava za željezničku infrastrukturu (NS Railinfrabeheer). Jedinstven aspekt holandskog modela u to vrijeme se ogledao u razlici između Railned-a i NS Railinfrabeheer-a. Railned je bio odgovoran za izdavanje licenci željezničkim operaterima, dodjelu kapaciteta pruge (putnički, teretni saobraćaj i održavanje), i za nadzor bezbjednosti na željeznici. NS Railinfrabeheer je bio odgovoran za izgradnju, održavanje i upravljanje željezničkom infrastrukturom. NS Verkeersleiding je bio zadužen za svakodnevno upravljanje saobraćajem i ažurirano informisanje putnika.

Transport putnika (NS Reizigers) i robe (NS Cargo) su postale odvojene organizacije u okviru NS Holdinga. U 2000. godini, sektor robnog transporta je prodat njemačkom konzorcijumu Railion, koji pripada DB-u (Deutsche Bahn), njemačkom željezničkom operateru u državnom vlasništvu. Ovaj potez je rezultovao ugovorom između države i NS-a, koji je imao za cilj da se NS-u da više prostora za donošenje vlastitih komercijalnih odluka. Treba napomenuti da ovom reformom nije obuhvaćena privatizacija NS-a, pošto je NS oduvijek bilo akcionarsko društvo („naamloze vennootschap“) u kojem je država bila vlasnik svih akcija. Ova reforma se više odnosi na ukidanje subvencija. NS je postalo samostalno preduzeće, oslobođeno direktne kontrole od strane ministarstva transporta, iako je država i dalje ostala jedini akcionar.

Decembra 2004. godine donesen je novi zakon o željeznici i koncesijama koji je u skladu sa EU direktivama i kome je primarni cilj otvaranje željezničkog tržišta za teretni saobraćaj i međunarodni prevoz putnika. Holandija se uvijek protivila otvaranju nacionalnog tržišta u putničkom saobraćaju za slobodnu konkurenciju jer se smatralo da će jedno željezničko preduzeće sa ekskluzivnim pravima za pružanje usluga u putničkom saobraćaju u regionu biti u boljoj poziciji da optimizuje ove usluge i osigura pouzdanost sa prihvatljivim vremenima putovanja i presjedanja, naročito na gusto eksploatisanoj mreži, kakva je ona u Holandiji.

Nacionalni željeznički operater NS (N.V. Nederlandse Spoorwegen) je zagovarao ideju da se željezničko tržište ne otvara za konkurenciju, međutim na prelazu u 21. vijek, politika se promijenila prema zagovaranju konkurencije. NS je počeo investirati u nova vozna sredstva i njihov učinak (kao što je zadovoljenost korisnika i broj vozova koji saobraćaju na vrijeme) se poboljšao.

Poslije izvršenih reformi željeznički sektor Holandije je puno napredovao i sada ima pozitivnu perspektivu. Zadovoljenost korisnika i efekti su poboljšani a broj ljudi koji putuju vozom je u stalnom rastu (od 16,3 milijardi pkm u 2009. godini do 19,7 u 2014. godini).

Na holandskom željezničkom tržištu licencirano je 37 željezničkih operatera, od toga 9 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 20 operatera za pružanje usluga transporta robe i 8 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe kako na mreži Soci t  Nationale des Chemins de fer fran ais R seau (SNCF R seau) infrastruktura tako i na vlastitoj mreži pruga. U Prilogu A ove disertacije prikazani su pokazatelji obima rada operatera.

2.1.7. ŽELJEZNIČKI OPERATERI ŠVAJCARSKE

Reforma željeznice u Švajcarskoj započela je 1999. godine, sa ciljem da se željeznički saobraćaj u Švajcarskoj uskladi sa EU. Infrastruktura je odvojena od prevoza (računovodstveno), otvoreno je tržište za teretni transport, pa se ono može smatrati liberalizovanim. Pristup tržištu putničkog transporta je predmet koncesije. Godine 1996. uvedena je praksa raspisivanja javnih poziva (tendera) kao opcija. Ponudu regionalnog prevoza zajednički definišu javne transportne kompanije, kantoni i Konfederacija. Nepokriveni troškovi za ove usluge se unaprijed procijenjuju i plaćaju ih javni organi. Konkuretnost teretnog transporta podržana je bilateralnim sporazumima sa EU što dovodi do recipročnih mjera koje omogućavaju stranim kompanijama da uspostave veze konvencionalne željeznice sa Švajcarskom i tranzit kroz tu zemlju. Švajcarska Federalna željeznica (Schweizerische Bundesbahnen – SBB), koja ostaje u vlasništvu države, transformisana je u javnu kompaniju i refinansirana je kako bi imala veću autonomiju. Njena veza sa Konfederacijom je definisana 4-godišnjim ugovorom o pružanju usluga, a u skladu sa tim ugovorm SBB prima i doprinose za infrastrukturne troškove.

Drugu fazu reforme željeznice je predstavilo Federalno Vijeće u februaru 2005. godine. Cilj ove reforme je da se modernizuje finansiranje željezničke infrastrukture (sekundarne linije), poboljša regulativa o bezbjednosti i ubrza usklađivanje sa EU. Ova reforma je imala četiri osnovna elementa: novi pristup finansiranju zasnovan na ugovorima o pružanju usluga, pri čemu Konfederacija finansira osnovnu mrežu, a kantoni regionalne mreže; nove bezbjednosne usluge (politika željeznice); zagwarantovan nediskriminirajući pristup mreži; unaprijeđenje interoperabilnosti harmonizacijom tehničkih standarda.

Regulatorni okvir za sprovođenje reformi pokazuje fragmentovani i parcijalni pristup. Jedini nezavisni regulator trenutno je Komisija za željezničku arbitražu (Schiedskommission im Eisenbahnverkehr - SKE) koji reguliše i vrši nadzor pristupa mreži kao i naknada za pristup. Federalni zavod za transport (Bundesamt für Verkehr, BAV) je nadležan za bezbjednost, finansiranje i infrastrukturu kao i pravni i politički okvir.

Glavni željeznički operater u Švajcarskoj je Schweizerische Bundesbahnen (SBB), koji je ujedno i upravljač infrastrukture. SBB je integrisana kompanija, gdje su operater za pružanje usluga transporta i upravljač infrastrukture računovodstveno razvojeni. Odjeljenje SBB-a koje je nadležno za infrastrukturu ima obavezu pružanja posebnih usluga kroz ugovore koje su potpisali sa Federalnim zavodom za transport (Bundesamt für Verkehr, BAV). SBB podnosi izvještaj BAV-u dva puta godišnje o nivou ostvarivanja ciljeva. BAV ima 10-godišnju koncesiju nad SBB-om za putnički saobraćaj velikih razadaljina ali on saobraća i na regionalnom nivou. U grupi SBB u 2015. godini je bilo 33 000 zaposlenih. SBB upravlja sa 3172 km pruge (Prilog A).

Na švajcarskom željezničkom tržištu licencirano je 17 željezničkih operatera, od toga 5 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 7 operatera za pružanje usluga transporta robe i 5 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe na željezničkoj mreži pruga.

2.2. ANALIZA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZEMALJA SREDNJE I ISTOČNE EVROPE

Sistemska analiza funkcionisanja željezničkih operatera država Srednje i Istočne Evrope (CEEC eng. Central and Eastern European Countries) jedan je od preduslova za razvoj modela efikasnosti i efektivnosti. Naime, željeznice BiH su dio ove grupe i većina trendova koja zahvata BiH zahvata i druge države iz spomenute grupe i obrnuto. Posebno treba imati na umu i činjenicu da će nakon liberalizacije željezničkog tržišta BiH željeznički operateri morati odmjeriti svoje konkurentne sposobnosti sa željezničkim operaterima država Srednje i Istočne Evrope, ali i sa željeznicama Evropske unije. S tim u vezi, posebno treba uzeti u obzir činjenicu da u takvim uslovima opstaju samo oni koji uspiju razviti održive konkurentne sposobnosti. U današnjim uslovima to je vrlo teško postići, ali uz povećanje efikasnosti poslovanja apsolutno je moguće.

U zemlje Srednje i Istočne Evrope, pored Bosne i Hercegovine, ubrajaju se: Albanija, Bugarska, Crna Gora, Češka, Mađarska, Makedonija, Poljska, Rumunija, Slovačka, Slovenija, Srbija i Hrvatska. Među nabrojanim zemljama Bugarska, Češka, Mađarska, Rumunija, Poljska, Slovačka, Slovenija i Hrvatska članice su EU što bi trebalo da znači da su svoj sistem željeznica već odavno prilagodile traženim standardima u pravnom, ekonomskom, tehničkom, tehnološkom i organizacijskom smislu.

Za razliku od država Zapadne Evrope, države Srednje i Istočne Evrope suočene su sa značajnim manjkom transportne infrastrukture, zbog čega su projekti modernizacije željezničke infrastrukture poprimili izuzetno veliku važnost.

Projekti modernizacije finansijski su izuzetno zahtjevni pa željeznička preduzeća posežu za raznim izvorima finansiranja, kao što su na primjer: Svjetska banka, Evropska banka za obnovu i razvoj, državni budžet, sredstva iz fondova Evropske unije, ali sve češće se spominju i zajmovi samih proizvođača i dobavljača transportnih sredstava i signalne opreme.

Svakako je ohrabrujuća činjenica da su gotovo sve države Srednje i Istočne Evrope prepoznale važnost željezničkog saobraćaja za privredu pa su pokrenule vrlo zahtjevne, kompleksne i dugotrajne projekte restrukturiranja s krajnjim ciljem privatizacije pojedinih segmenata sistema željeznica. Da bi uopšte dostigle krajnji cilj privatizacije, željeznice Srednje i Istočne Evrope moraju, kroz rezanje troškova u svim segmentima poslovanja i povećanjem efikasnosti i efektivnosti, znatno smanjiti izdatke iz državnog budžeta i povećati profitabilnost. Naravno, posve je jasno da u sistemu željeznica postoje segmenti, kao što je infrastruktura, koji zbog vrlo visokih fiksnih troškova nikako ne mogu postati profitabilni. Takve segmente potrebno je izdvojiti u posebna preduzeća da bi se preostala preduzeća (transport putnika, transport robe) mogla osposobiti za konkurentni nastup na liberalizovanom željezničkom tržištu.

2.2.1. ŽELJEZNIČKI OPERATERI ALBANIJE

Željeznički sektor u Albaniji regulisan je Zakonom o željeznicama koji je donesen 2004. godine. U skladu sa članom 12. ovog Zakona, Željeznice Albanije - Hekurudha Shqiptare (HSH) je vertikalno integrisana kompanija, čija je imovina u potpunosti u vlasništvu države. Zakon dozvoljava i druga željeznička preduzeća, nakon dobijanja potrebnih dozvola od Ministarstva transporta i infrastrukture (Ministria e Transportit dhe Infrastruktures), ali ipak do danas, na željezničkom tržištu Albanije Hekurudha Shqiptare je jedini operater za pružanje usluga transporta putnika i robe. U ovom trenutku statut kojim se uređuju Željeznice Albanije ne dozvoljava holding strukture - ovo bi bio prvi korak ka osiguravanju odvajanja računa kao što je predviđeno Direktivom 2001/12/EZ i Direktivom 91/440/EEZ. S druge strane, promjene u statutima Željeznica Albanije bi zahtijevale izmjene i dopune Zakona o željeznicama. Zakon ne spominje institucionalne aranžmane između države i željezničkog sektora, i uvođenje propisa o bezbjednosti EU. Osim toga, zakon ne uređuje planiranje i finansiranje, niti odnos između države i odvojenih kompanija za infrastrukturu, transport putnika i transport robe.

Odlukom Vlade koja se odnosi na sprovođenje Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju EU iz 2006. godine, postavljen je ambiciozan program reformi. On se sastojao od niza mjera za željeznički sektor, uključujući izradu akcionog plana za odvajanje računa upravljača infrastrukture i operatera i studije o institucionalnom razdvajanju infrastrukture od operatera. 2007. godine odobrena je odluka Vlade vezana za izmjenu subvencija za željeznice – ovim je predloženo zaključivanje ugovora o obavezi javnih usluga između Ministarstva javnih radova, transporta i komunikacija i Željeznica Albanije, razdvajanje računa za putnički transport, mogućnost prilagođavanja tarifa u slučajevima gdje naknada ne pokriva puni iznos potreban za javne usluge, kao i razdvajanje upravljanja infrastrukturom od prevoza.

Pripremljeni su prijedlozi za restrukturiranje, ali su onda stavljani na čekanje od aprila 2008. do proljeća 2009. godine, a za to vrijeme je bilo dozvoljeno Željeznicama Albanije da nastavi proces unutrašnjeg restrukturiranja. Uprkos reorganizaciji, upravljačke strukture kompanije su ostale nepromijenjene. Pozitivna stvar je donošenje Uredbe i novog Zakona o željeznicama kojima se osniva Albansko željezničko tijelo i osnivaju poslovne jedinice za transport putnika, transport robe, upravljanje infrastrukturom i održavanje.

Na albanskom željezničkom tržištu licenciran je samo jedan operater i to Hekurudha Shqiptarë SH.A. (HSH) za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.2. ŽELJEZNIČKI OPERATERI BUGARSKE

Restrukturiranje Bugarskih državnih željeznica (Български Държавни Желѐзници – BDŽ) započelo je 1. januara 2002. godine kada je usvojen Zakon o željeznicama kojim je preduzeće podijeljeno na dvije nezavisne kompanije:

- Bugarske državne željeznice (BDŽ) EAD – operater i
- Nacionalna kompanija “Željeznička infrastruktura” (Nacionalna kompanija “Železopътна infrastruktura” – NK ŽI)– upravljač infrastrukturom.

BDŽ EAD je akcionarsko (trgovačko) društvo sa 100% vlasništvom kapitala od strane države dok je NK ŽI javno preduzeće. Licence za izvršavanje prevoza kao i bezbjednosne sertifikate izdaje Ministarstvo transporta.

Upravljač željezničke infrastrukture je preduzeće Nacionalna kompanija “Željeznička infrastruktura” – NK ŽI. Njeni zadaci su: omogućavanje korišćenja željezničke infrastrukture od strane licenciranih operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe pod jednakim uslovima, odobravanje pristupa infrastrukturi operaterima u skladu sa zakonskim odredbama, eksploatacija, popravka, održavanje i razvoj željezničke infrastrukture, izrada grafikona saobraćaja vozova u koordinaciji sa operaterima (Stojić, 2010.).

U željezničkom sistemu Bugarske postoji Izvršna Agencija “Željeznička administracija”, nacionalni organ formiran od strane Vlade, koji obavlja poslove regulatornog i bezbjednosnog tijela.

Na bugarskom željezničkom tržištu licencirano je 16 željezničkih operatera, od toga 1 operater za pružanje usluga transporta putnika, 13 operatera za pružanje usluga transporta robe i 2 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe kako na mreži NK ŽI infrastruktura tako i na vlastitoj mreži pruga. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.3. ŽELJEZNIČKI OPERATERI MAĐARSKE

Vlada Mađarske 1993. godine dotadašnje mađarske državne željeznice MÁV (Magyar Államvasutak – MÁV) preregistruje u akcionarsko društvo sa državnim vlasništvom kapitala pod imenom MÁV ZRt . U skladu sa potrebama tržišta, sredinom 2007. godine, MÁV ZRt se reorganizuje u MÁV Group koju sačinjavaju zasebna preduzeća (Stojić, 2010.):

- MÁV ZRt – upravljač infrastrukturom;
- MÁV-START ZRt – operater putničkog saobraćaja;
- MÁV Cargo ZRt – operater teretnog saobraćaja (privatizovan);
- MÁV Északi Járműjavító Kft. – kompanija za popravku željezničkih vozila na sjeveru;
- MÁV Szolnoki Járműjavító Kft. – kompanija za popravku željezničkih vozila u Solnoku;
- MÁV Debreceni Járműjavító Kft. – kompanija za popravku željezničkih vozila u Debrecnu;
- MÁV TISZAVAS Kft. – kompanija za proizvodnju željezničke opreme i teretnih kola;
- MÁV Ingatlankezelő Kft. – kompanija za upravljanje nepokretnom imovinom;
- MÁV Vagyonkezelő Zrt. – kompanija za uslužne djelatnosti: razvoj, marketing, izdavanje, nekretnina;
- MÁV INFORMATIKA Kft. – kompanija za informatiku;
- MÁV VAGON Kft. – kompanija za izradu teretnih kola i opremu;
- MÁV Lokomotív Hotels Co. – kompanija za upravljanje hotelima;
- MÁV Nosztalgia Kft. – kompanija za turističke vožnje parnim lokomotivama.

Definisanje saobraćajne politike, donošenje zakonskih i podzakonskih akata i izdavanje licenci u nadležnosti je Ministarstva transporta, telekomunikacija i energije. Bezbjednosno i istražno tijelo nalazi se u sastavu Biroa za bezbjednost u željezničkom, vazdušnom i vodnom transportu

(Közlekedésbiztonsági Szervezet) koje je osnovano od strane ministarstva. Poslove regulatornog tijela obavlja Kancelarija za mađarske željeznice (Gazdasági Versenyhivatal).

Upravljač željezničkom infrastrukturom je MÁV ZRt. Zadužen je za upravljanje saobraćajem, održavanje i razvoj željezničke mreže, stanica, odobrava pristup infrastrukturi i dodjeljuje trase vozova. Dijelom infrastrukture upravlja i kompanija Győr-Sopron-Ebenfurti Vasút Zrt. (GySEV ZRt) koja je istovremeno i operater za transport putnika i transport robe.

Na mađarskom željezničkom tržištu licencirano je 56 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 2 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 50 operatera za pružanje usluga transporta robe i 4 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe kako na mreži NK ŽI infrastruktura tako i na vlastitoj mreži pruga Najveći operater u pružanju usluga transporta putnika i transporta robe je MÁV-Start MÁV-Start Vasúti Személyszállító Zrt. Pokazatelji obima rada ovog operatera prikazani su u prilogu A.

2.2.4. ŽELJEZNIČKI OPERATERI MAKEDONIJE

Početak restrukturiranja Javnog preduzeća Makedonske željeznice (JP Makedonski željeznici – JP MŽ), započeo je donošenjem Zakona o željeznici, 2005. godine, u kojem se vrši odvajanje djelatnosti transporta od infrastrukture, definišu načini davanja i oduzimanja licenci o pružanju usluga željezničkog transporta i sertifikata o bezbjednosti, zadaci regulatornog tijela, finansiranje željezničke infrastrukture, uslovi obaveza javnog prevoza i inspekcijskog nadzora. Iste godine donesen je i Zakon o transformaciji MŽ kojim se javno preduzeće dijeli na dvije organizacione cijeline (Stojić, 2010.):

- Javno preduzeće za željezničku infrastrukturu “Makedonski željeznici” – upravlja željezničkom infrastrukturom i
- Akcionarsko društvo “Makedonski željeznici Transport AD” – operater za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe.

U 2006. godini, kompanije su odvojile poslovne račune, a početkom 2008. godine postale su potpuno nezavisni subjekti.

Nadležno ministarstvo je Ministarstvo transporta i veza, a tijelo za bezbjednost je u sklopu ovog ministarstva. Istražno tijelo predstavlja posebna Komisija, imenovana od strane ministarstva, koja je nezavisna po svojoj organizaciji i donošenju odluka od upravljača infrastrukturom i operatera. Poslove regulatornog tijela obavlja Agencija za regulisanje tržišta željezničkih usluga.

JP za željezničku infrastrukturu “Makedonski željeznici” je upravljač željezničkom infrastrukturom. Djelatnosti upravljača infrastrukture su: organizacija i regulisanje željezničkog saobraćaja, obezbjeđenje pristupa i korišćenja željezničke infrastrukture svim operaterima koji su licencirani za pružanje usluga transporta, organizovanje javnog prevoza i transporta za sopstvene potrebe, planiranje izgradnje, rekonstrukcije, remonta, održavanja i zaštite željezničke infrastrukture, modernizacija, održavanje i zaštita željezničke infrastrukture, pružnih vozila i mašina, preduzimanje potrebnih mjera zaštite od buke i zaštite životne sredine (Stojić, 2010.).

Makedonsko željezničko tržište nije otvoreno za konkurenciju a jedini operater za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe je Makedonski željeznici Transport AD. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A ove disertacije.

2.2.5. ŽELJEZNIČKI OPERATERI POLJSKE

Poljske državne željeznice (Polskie Koleje Państwowe – PKP) su imale veoma tešku poziciju u periodu tranzicije ali i dosta uspješan put restrukturiranja.

Proces restrukturiranja poljskih državnih željeznica izvršen je u nekoliko faza. Izdvajanje sporednih djelatnosti iz preduzeća je bio prvi korak u tom procesu. Izdvojeni su depoi za održavanje voznih sredstava i preduzeće za građevinske radove na remontu željezničke infrastrukture. Godine 1995. je donesen Zakon o željeznici koji je omogućavao razdvajanje poslovnih računa između infrastrukture i transporta. Zatim, 1997. godine je usvojen Zakon o željezničkom saobraćaju koji je omogućavao organizaciono odvajanje infrastrukture i transporta. Entiteti infrastruktura, putnički, robni saobraćaj i vuča vozova postali su odvojene direkcije 1998. godine. Odlukom Vlade o komercijalizaciji, restrukturiranju i privatizaciji iz 2002. godine preduzeće PKP je postalo holding kompanija. Istom odlukom omogućen je prenos finansiranja i organizacije gradskog i regionalnog prevoza na lokalne vlasti, definisan je način servisiranja duga preduzeća, program redukovanja broja zaposlenih i dr. (Stojić, 2010.)

Godine 2001. osnovan je konglomerat PKP Group kojeg sačinjavaju sljedeće kompanije:

- PKP Polskie Koleje Państwowe Spółka Akcyjna (PKP SA) – dominantna kompanija u konglomeratu; U suštini PKP SA je holding; Ima pravo potpune kontrole nad ostalim u PKP Group i odgovorna je za upravljanje sa svim kompanijama u grupaciji; Posjeduje 100% vlasništvo kapitala u 35 akcionarskih društava i posjeduje dionice u dodatne 74 kompanije;
- PKP Intercity – operater međugradskog prevoza putnika;
- PKP Przewozy Regionalne – operater za regionalni prevoz putnika;
- PKP Warszawska Kolej Dojazdowa – gradska željeznica u Varšavi; Istovremeno je upravljač gradskom željezničkom infrastrukturom i operater gradskog i prigradskog putničkog saobraćaja u Varšavi;
- PKP Szybka Kolej Miejska (SKM) – operater za prevoz putnika između gradova Gdanjsk, Gdinj i Sopot na sjeveru države;
- PKP Cargo – operater za teretni saobraćaj;
- PKP Linia Hutnicza Szerokotorowa – operater za teretni saobraćaj na prugama širokog kolosijeka na jugu zemlje (područje Kratovica) do granice sa Ukrajinom na kojoj se prevozi teret između istočnog i zapadnog dijela evropskog kontinenta;
- PKP Polskie Linie Kolejowe – upravljač željezničkom infrastrukturom;
- PKP Telekomunikacja Kolejowa – željezničke telekomunikacije;
- PKP Energetyka – željeznička energetika;
- PKP Informatyka – željeznička informatika.

Tijelo za bezbjednost i regulatorno tijelo su u sastavu Ministarstva infrastrukture. Kancelarija za željeznički saobraćaj odobrava naknade za korišćenje željezničke infrastrukture, nadgleda raspodjelu infrastrukturnih kapaciteta, razmatra žalbe, prati i analizira željezničko tržište,

izdaje licence za pružanje usluga transporta i bezbjednosne sertifikate, nadzire ispunjenost bezbjednosnih propisa. Istraživanje željezničkih nesreća obavlja Nacionalna komisija za istraživanje željezničkih nesreća.

Kompanija PKP Polskie Linie Kolejowe – PLK SA je upravljač infrastrukture. Željeznička infrastruktura je vlasništvo države (oko 23.000 km). Zadaci upravljača su: modernizacija željezničkih pruga prema standardima EU, izrada reda vožnje, omogućavanje operaterima nediskriminatorskog pristupa infrastrukturi, regulisanje saobraćaja vozova, održavanje željezničke infrastrukture, komercijalno korišćenje željezničke infrastrukture, investiranje u željezničku infrastrukturu (Stojić, 2010.).

Liberalizacija željezničkog tržišta Poljske počela je 2003. godine. Na poljskom željezničkom tržištu licencirano je 107 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 17 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 71 operater za pružanje usluga transporta robe i 19 operatera za pružanje usluga transporta putnika i robe na mreži željezničke infrastrukture.

Najveći operater u pružanju usluga transporta putnika i transporta robe je PKP Polskie Koleje Państwowe Spółka Akcyjna holding. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.6. ŽELJEZNIČKI OPERATERI RUMUNIJE

Rumunske željeznice (Societatea Națională a Cailor Ferate România – SNCFR) prije restrukturiranja bile su državne. U sklopu SNCFR-a, prije restrukturiranja, osim suštinskih djelatnosti (transport i infrastruktura), bile su škole, bolnice, hoteli, restorani, preduzeća za održavanje higijene i sl. zbog čega su bile veoma neefikasne i nerentabilne.

Restrukturiranje rumunskih željeznica započinje programom Vlade Rumunije iz 1996. godine koji je implementiran 1998. SNCFR je podijeljen na sljedeća preduzeća:

- CFR (Căile Ferate Române) SA – upravljač infrastrukturom;
- CFR Călători SA – operater putničkog saobraćaja;
- CFR Marfă SA – operater teretnog saobraćaja;
- Excess Assets Company SAAF SA – za upravljanje željezničkom imovinom koja nije od suštinske djelatnosti za željeznički saobraćaj;
- Service Company SMF SA – za upravljanje uslužnim djelatnostima.

CFR, CFR Călători i CFR Marfă su zasebna akcionarska preduzeća sa 100% vlasništvom kapitala od strane države. Preduzeća za upravljanje željezničkom imovinom i uslužnim djelatnostima su privatizovana.

Nadležno ministarstvo je Ministarstvo transporta i infrastrukture Rumunije. U sklopu ministarstva postoji regulatorno tijelo pod imenom Željeznička komisija za superviziju (Consiliul de Supraveghere din domeniul feroviar). Osim toga postoji i posebna Agencija AFER (Autoritatea Feroviară Română – AFER) koja se sastoji iz četiri sektora: Bezbjednosno tijelo (ASFR), Tijelo za verifikaciju (ONFR), Istražno tijelo (OIFR) i Tijelo za licenciranje (OLFR).

Željeznička infrastruktura je u vlasništvu države, a njen nacionalni upravljač je CFR SA. Upravlja sa mrežom željezničkih pruga dužine 11.380 km, odnosno ukupne dužine 22.247 km i 1.419 stanica. Zadatak upravljača je: upravlja korišćenjem željezničke infrastrukture i njenim stavljanjem u službu operaterima, razvoj i modernizacija rumunske željezničke infrastrukture u skladu sa Evropskim standardima, kako bi se obezbijedila kompatibilnost i interoperabilnost sa Evropskim željezničkim sistemom, rukovođenje, organizacija, planiranje, koordinacija i kontrola aktivnosti eksploatacije, održavanja i opravki željezničke infrastrukture, komercijalna eksploatacija naslijeđene pomoćne željezničke infrastrukture. Glavni izvor prihoda upravljača infrastrukture je naplata naknade za korišćenje željezničke infrastrukture.

Na rumunskom željezničkom tržištu licencirano je 55 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 8 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 41 operater za pružanje usluga transporta robe i 6 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe na mreži željezničke infrastrukture.

Najveći operater u pružanju usluga transporta robe je CFR Marfa SA. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.7. ŽELJEZNIČKI OPERATERI SLOVAČKE

Vertikalno razdvajanje željezničkog preduzeća na djelatnosti upravljanja infrastrukturom i transportom u Slovačkoj je izvršeno 2002. god. Za rad infrastrukture je odgovorna Željeznice Slovenskej republiky (ŽSR), a za prevoz Železničná spoločnosť Slovensko, a.s. (ŽSSK). ŽSSK je 2005. god. zamijenjena sa dvije nezavisne željezničke transportne kompanije: Železničná spoločnosť Slovensko, a.s. (ŽSSK) za transport putnika i Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a.s (ŽSSK Cargo), za transport robe, sa odvojenim bilansima.

Inostrana željeznička preduzeća u prekograničnom transportu i domaća željeznička preduzeća imaju otvoren pristup u segmentima željezničkog teretnog i čisto komercijalnog transporta putnika. Ugovori za obezbjeđivanje javnih usluga se direktno dodjeljuju inkumbentu.

Upravljač infrastrukture ŽSR je odgovoran za raspodjelu kapaciteta. Sporazumi između upravljača infrastrukture i ŽP se zaključuju u formi pojedinačnih sporazuma.

Regulatorna kancelarija za željeznički saobraćaj (Úrad pre reguláciu železničnej dopravy – ÚRŽD), prema Direktivi 2001/14/ES, preuzima odgovornost željezničkog regulatornog tijela u Slovačkoj. Nadležnosti ÚRŽD-a (definisane u slovačkom Zakonu o željeznici) obuhvataju: ispitivanje Izjave mreže (NS), istraživanje procedura dodijele i korišćenja infrastrukture i praćenje konkurencije.

Na slovačkom željezničkom tržištu licencirano je 35 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 5 operatera za pružanje usluga transporta putnika, 27 operatera za pružanje usluga transporta robe i 3 operatera za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe na mreži željezničke infrastrukture.

Glavni operater u transportu robe je Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a.s., a u transportu putnika ZSSK koje vrše usluge transporta na domaćem tržištu. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.8. ŽELJEZNIČKI OPERATERI SLOVENIJE

Ministarstvo za infrastrukturu Republike Slovenije, preko svog Direktorata za kopenski promet, definiše strategiju razvoja željezničkog sistema, izrađuje zakonske i podzakonske akte, obezbjeđuje finansiranje željezničke infrastrukture i finansiranje transporta putnika preko ugovora o izdvajanju obavezne gospodarske službe (PSO). U sklopu ministarstva funkcioniše istražno tijelo i Inspektorat saobraćaja.

Regulatorno tijelo je AKOS (Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije).

Agencija za željeznički saobraćaj je nezavisni pravni entitet. Funkcioniše kao bezbjednosno tijelo i tijelo za dodijelu prava za korišćenje infrastrukture. Dodijeljuje trase vozova, izdaje Izjavu o mreži, izrađuje Nacionalni program za izgradnju i održavanje javne infrastrukture, daje saglasnost na red vožnje, izdaje licence za pružanje usluga željezničkog transporta i bezbjednosne sertifikate.

Slovenačke željeznice (Slovenske željeznice – SŽ) su holding preduzeće koje je nastalo 1992. godine. Funkcioniše kao društvo sa ograničenom odgovornošću. Vlasništvo kapitala SŽ je državno. Odvajanje poslovnih računa infrastrukture i transporta izvršeno je 1999. godine. Računi su posebni za putnički i teretni saobraćaj.

Upravljač infrastrukture na željezničkoj mreži u Sloveniji je SŽ-Infrastruktura (d.o.o.). U sklopu holdinga ta organizaciona cjelina ima odvojen poslovni račun od ostalih cjelina. U sastavu infrastrukture ulazi građevinska, elektroenergetska, signalna i telekomunikaciona djelatnost. Upravljač infrastrukture održava željezničku infrastrukturu, izrađuje red vožnje i upravlja saobraćajem vozova. Izdavanje trasa vozova vrši Agencija za željeznički saobraćaj (Stojić, 2010.).

Liberalizacija željezničkog tržišta Slovenije počinje 2008. godine kada se pojavljuju drugi operateri i to: GKB – Graz Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH i RCA – Rail Cargo Austria AG.

Na slovenačkom željezničkom tržištu licencirano je 6 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 1 operater za pružanje usluga transporta putnika, 4 operatera za pružanje usluga transporta robe i 1 operater za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe na mreži željezničke infrastrukture.

Najveći operater u pružanju usluga transporta putnika je SŽ - Potniški promet d.o.o., koji je 100% u vlasništvu države, a u transportu robe je SŽ - Tovorni promet (d.o.o.). Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.9. ŽELJEZNIČKI OPERATERI SRBIJE

Proces reformi željezničkog sektora u Srbiji prolazi kroz više faza. Može se reći da počinju donošenjem novog Zakona o željeznici 2005. godine, kada je uspostavljena nova organizaciona struktura željeznica Srbije kao preduslov za dalju decentralizaciju ovog preduzeća. Izvršeno je računovodstveno razgraničenje, odnosno izrada odvojenih internih nerevidiranih bilansa uspjeha za infrastrukturu i transport i osnovana je Direkcija za željeznice koja će imati ulogu regulatornog tijela. U 2009., 2010. i 2011. godini intenzivirane su aktivnosti u procesu restrukturiranja željeznica i to kroz usvajanje neophodnih podzakonskih akata i dokumenata iz oblasti željezničkog saobraćaja. Predložen je novi Zakon o željeznici u skladu sa pravnim tekovinama EU, koji je imao za cilj deregulaciju željezničkog tržišta i usaglašavanje nacionalnog zakonodavstva sa EU. Novi zakon predviđa slobodan pristup željezničkih preduzeća infrastrukturi, uspostavljanje procesa raspodjele voznih trasa i pravila za određivanje naknada i potpuno restrukturiranje JP „Željeznice Srbije“ u smislu razdvajanja upravljanja infrastrukture i operacija u okviru holding strukture. Takođe, predviđa uspostavljanje regulatornog organa, u cilju obezbjeđenja fer konkurencije na tržištu željezničkih usluga i organa za bezbjednost koji bi vršio nadzor željezničkih kompanija i upravljača infrastrukture u pitanjima bezbjednosti, licenciranja i interoperabilnosti. Zadaci raspodjele infrastrukturnih kapaciteta i određivanja naknada trebaju biti odvojeni od tijela koje pružaju usluge željezničkog saobraćaja.

"Željeznice Srbije" (ŽS) su i dalje funkcionisale kao integrisano preduzeće (iako je razdvajanje u okviru internih bilansa uspjeha za upravljanje infrastrukturom i pružanje usluga transporta izvršeno još 2006. godine), "Željeznice Srbije" su i dalje držale monopol u transportu putnika i transportu robe u Srbiji. Ostala željeznička preduzeća nisu mogla da se pojave na srpskom željezničkom tržištu. Država nije prihvatila strane licence.

Vlada Srbije je 2. jula 2015. donijela odluku o statusnoj promjeni "Željeznica Srbije", izdvajanja uz osnivanje novih akcionarskih društava - "Infrastruktura željeznice Srbije", "Srbija voz" i "Srbija Kargo". Agencija za privredne registre je 10. avgusta donijela rješenje o upisu u registar novoformiranih Društava. Srpske željeznice nastavile su da postoje kao četiri akcionarska društva: Društvo "Željeznice Srbije" a.d., Društvo za upravljanje željezničkom infrastrukturom "Infrastruktura željeznice Srbije", Društvo za željeznički prevoz robe "Srbija kargo" i Društvo za željeznički prevoz putnika "Srbija voz".

Direkcija za željeznice, kao posebna organizacija, obavlja poslove državne uprave u oblasti željeznice utvrđene ovim zakonom, kao i zakonom kojim se uređuje bezbjednost i interoperabilnost u željezničkom saobraćaju. Direkcija obavlja poslove u oblasti regulisanja tržišta željezničkih usluga, poslove u oblasti regulisanja bezbjednosti i interoperabilnosti željezničkog saobraćaja.

Liberalizacija željezničkog tržišta Srbije počinje donošenjem novih Zakona o željeznici i o bezbjednosti i interoperabilnosti željeznice 2015. godine, čiji je cilj uvođenje podsticaja za željezničke prevoznike i upravljače infrastrukture i smanjenje poremećaja i poboljšanje efikasnosti mreže.

Na željezničkom tržištu Srbije licencirano je 6 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 1 operater za pružanje usluga transporta putnika (Srbija Voz a.d.) i 5 operatera za pružanje usluga transporta robe na mreži željezničke infrastrukture (Srbija

Kargo a.d., Kombinovani Prevoz d.o.o., AB Prevoz d.o.o. Standard Logistic d.o.o. i Trans Cargo Logistic doo Beograd). Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.10. ŽELJEZNIČKI OPERATERI HRVATSKE

Proces reformi željezničkog sektora Hrvatske počinje donošenjem Zakona o željeznici 2005. godine kada su Hrvatske željeznice-HŽ podijeljene na četiri društva sa ograničenom odgovornošću i to: HŽ Infrastruktura, HŽ Putnički prevoz, HŽ Cargo, HŽ i Vuča vozova. Ovim su Hrvatske željeznice zadovoljile osnovni preduslov uspješnog restrukturiranja, a to je razdvajanje procesa upravljanja infrastrukturom i procesa pružanja usluga željezničkog transporta. Zakon definiše i način davanja i oduzimanja licenci o pružanju usluga željezničkog transporta i sertifikata o bezbjednosti, zadatke regulatornog tijela, finansiranje željezničke infrastrukture, uslove PSO-a, inspeksijski nadzor.

Sva društva su organizovana u HŽ Holding d.o.o.. Osnivač i jedini akcionar društava u holdingu je država. HŽ Holding obavlja upravljačke djelatnosti, daje savjete u vezi poslovanja i upravljanja društava, vrši marketinške, računovodstvene i knjigovodstvene usluge, posreduje pri sklapanju finansijskih ugovora, prikuplja, izrađuje, analizira i daje informacije o kreditnoj sposobnosti pravnih lica i dr.

HŽ Putnički prijevoz obavlja javni prevoz putnika u unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju. HŽ Cargo obavlja javni transport robe u unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju i kombinovanom saobraćaju. HŽ Vuča vlakova obavlja vuču vozova u unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju, pregled i održavanje željezničkih vozila, prevoz u željezničkom i drumskom saobraćaju.

Nadležno ministarstvo za željeznice je Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture. U sklopu ministarstva postoji Uprava za željeznički saobraćaj i samostalno Odjeljenje za istraživanje željezničkih nesreća (istražno tijelo).

U 2009. godini osnovana je Agencija za sigurnost željezničkog prometa, koja predstavlja tijelo nadležno za sigurnost u smislu željezničkog zakonodavstva Evropske unije, kojoj su povjereni zadaci regulisanja i nadzora sigurnosti željezničkog sistema Republike Hrvatske. Djelatnost Agencije obuhvata poslove vezane za sigurnost željezničkog sistema, a naročito poslove vezane za potvrde i uvjerenja o sigurnosti, odobrenja, dozvola i drugih ovlaštenja te nadzor i inspekciju u cilju osiguravanja kontinuiranog udovoljavanja zahtjevima za sigurnost željezničkog sistema, vođenje propisanih registara te obavljanje drugih poslova utvrđenih Zakonom i propisima Evropske unije.

Poslove regulatornog tijela obavlja Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM).

Liberalizacija željezničkog tržišta Hrvatske počinje 2014. godine. Na hrvatskom željezničkom tržištu licencirano je 5 željezničkih operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 1 operater za pružanje usluga transporta putnika i 4 operatera za pružanje usluga transporta robe na mreži željezničke infrastrukture. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.11. ŽELJEZNIČKI OPERATERI CRNE GORE

Republika Crna Gora se donošenjem Zakona o željeznici 2004. godine opredijelila za restrukturiranje željezničkog sistema prema direktivama EU. Istim zakonom se opredijelila i za sam model uređenja željezničkog sistema jasno definišući razdvajanje upravljanja željezničkom infrastrukturom i upravljanja transportom u posebne organizacione i nezavisne cjeline. Vlada Crne Gore je 2007. godine donijela Strategiju restrukturiranja željeznice Crne Gore. Strategijom su određeni koraci i način na koji će se izvršiti restrukturiranje (segmentacija) "jedinstvene" Željeznice Crne Gore, uzimajući u obzir direktive koje je donijela EU za liberalizaciju evropskog željezničkog tržišta.

Na osnovu navedene strategije pristupilo se segmentaciji kompanije Željeznica Crne Gore a.d. Od 1. januara 2008. godine, u sastavu navedene kompanije funkcionisala su dva dioničarska društva, Infrastruktura DOO Podgorica i Prevoz DOO Podgorica. Ovo je bio prvi korak koji je vodio potpunom razdvajanju poslova na infrastrukturne i na poslove prevoznika (operatera). Sa početnim razdvajanjem na DOO (zavisna društva) pristupilo se i razdvajanju imovine na nove firme koje će u daljem postupku postati potpuno samostalne.

Od 2. jula 2008. godine funkcionišu potpuno dva nezavisna akcionarska društva, upravljač infrastrukture "Željeznička infrastruktura Crne Gore AD – Podgorica" (ŽICG) i "Željeznički prevoz Crne Gore AD – Podgorica" (ŽPCG), čime su ispunjeni uslovi koji se tiču razdvajanja računovodstva upravljača infrastrukturom i prevoznika. Od 1. jula 2009. godine nastavljeno je restrukturiranje "Željezničkog prevoza Crne Gore AD – Podgorica" prema pomenutoj Strategiji Vlade Crne Gore, na način da se iz ove kompanije izdvojio teretni saobraćaj. i osnovano je novo akcionarsko društvo "AD Montecargo Podgorica" (MC), čija je osnovna djelatnost transport robe.

Restrukturiranje željeznica Crne Gore se nastavlja 2011. godine kada se iz "Željezničkog prevoza Crne Gore AD – Podgorica", izdvaja održavanje željezničkih voznih sredstava i osniva novo akcionarsko društvo "AD Održavanje željezničkih voznih sredstava" (OŽVS), čija je osnovna djelatnost održavanje željezničkih voznih sredstava.

Izdvajanjem teretnog saobraćaja i održavanja željezničkih voznih sredstava, kompanija "Željeznički prevoz Crne Gore AD – Podgorica" ja nastavila da funkcionise kao operater u pružanju usluga transporta putnika.

Otvaranje tržišta željezničkih usluga, novi pristupi i procedure u oblasti bezbjednosti na željeznici, implementacija direktiva i regulativa EU, unaprijeđenje regionalne saradnje i dr. uslovalo je osnivanje nadležnog organa državne uprave - Direkcije za željeznice koja obavlja regulatorne poslove i poslove vezane za bezbjednosti na željeznici.

Na željezničkom tržištu Crne Gore licencirana su 2 željeznička operatera za pružanje usluga željezničkog transporta, od toga 1 operater za pružanje usluga transporta putnika (Željeznički prevoz Crne Gore AD) i 1 operater za pružanje usluga transporta robe (Montecargo AD) na mreži željezničke infrastrukture. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

2.2.12. ŽELJEZNIČKI OPERATERI ČEŠKE

Transformacija češkog željezničkog sistema započela je donošenjem Zakona o transformaciji 31.12.2002. godine kada je državno preduzeće Češke željeznice (České Dráhy – ČD) podijeljeno na dva preduzeća i to České Dráhy (ČD) – operater za pružanje usluga transporta putnika i transporta robe i Správa železniční dopravní cesty (SŽDC) – Administracija željezničke infrastrukture. Novonastala preduzeća samostalno su počela da posluju 01.01.2003. godine. Preduzeće České Dráhy (ČD) je osnovano kao akcionarsko društvo sa 100% državnim vlasništvom kapitala. Dominantan je operater u putničkom saobraćaju. Sve do 1. decembra 2007. godine bio je dominantan operater i u teretnom saobraćaju kada je osnovano preduzeće ČD Cargo, 100% vlasništvo ČD – a, koje je postalo najveći teretni prevoznik na češkim željeznicama. U Ministarstvu transporta (Ministerstvo dopravy) postoji Departman za željeznice, željeznički i kombinovani transport (Dražní doprava).

Željeznička uprava (Dražní úřad), pored ministarstva, odgovorna je za definisanje željezničkih propisa, bezbjednost (bezbjednosno tijelo), izdavanje prevoznih licenci, bezbjednosnih sertifikata i licence mašinovođama, interoperabilnost, nadzor nad željezničkim sistemom i željezničkim tržištem, njegovu liberalizaciju, onemogućavanje monopola, rješavanje žalbi i sl. (regulatorno tijelo). U sklopu uprave postoje tri sektora: dozvole, tehnika i operativa. Željeznički inspektorat sprovodi inspeksijski nadzor željezničkog sistema u pogledu bezbjednosti, podnosi zahtjeve željezničkim preduzećima o unapređenju bezbjednosti, vrši istraživanje vanrednih događaja (istražno tijelo) (Stojić, 2010.).

Na željezničkom tržištu Češke Republike licenciran je 81 operater za pružanje usluga transporta, od toga jedan operater samo pruža usluge transporta putnika i GW Train Regio a.s., 59 operatera pruža usluge transporta robe a 21 operater pruža usluge transporta putnika i transporta robe. Najznačajniji su, osim ČD–a i ČD Cargo: JHMD (Jindřichohradecké místní dráhy), OKDD (OKD, Doprava, a.s.), VIA (Viamont, a.s.), VIA-C (Viamont cargo, a.s.), VTM (Veolia Transport Morava, a.s.), ODOS (Ostravská dopravní společnost, a.s.), RT (Railtrans, s.r.o.), UNIDO (Unipetrol doprava, a.s.).

JHMD (Jindřichohradecké Místní Dráhy a.s.) je prvi privatni željeznički operater i vlasnik lokalne željezničke infrastrukture koji je registrovan 1998. godine. Obavlja transport putnika i transport robe dizel i parnom vučom vozova na prugama uzanog kolosijeka (760 mm) između Jindřihuv Hradca i Nove Bistrice i Jindřihuv Hradca i Obratana (Jindřichův Hradec - Nová Bystřice i Jindřichův Hradec – Obrataň). Ukupna dužina pruga je 79 km sa 30 željezničkih stanica.

Preduzeće OKD Doprava a.s. obavlja željeznički prevoz na nacionalnim i regionalnim prugama u Češkoj Republici, kao i na teritoriji EU-a (EEA). Eksploatišu 50 željezničkih lokalnih pruga, od kojih je čak 31 bila uklonjena sa mape nacionalnih i regionalnih državnih željezničkih pruga.

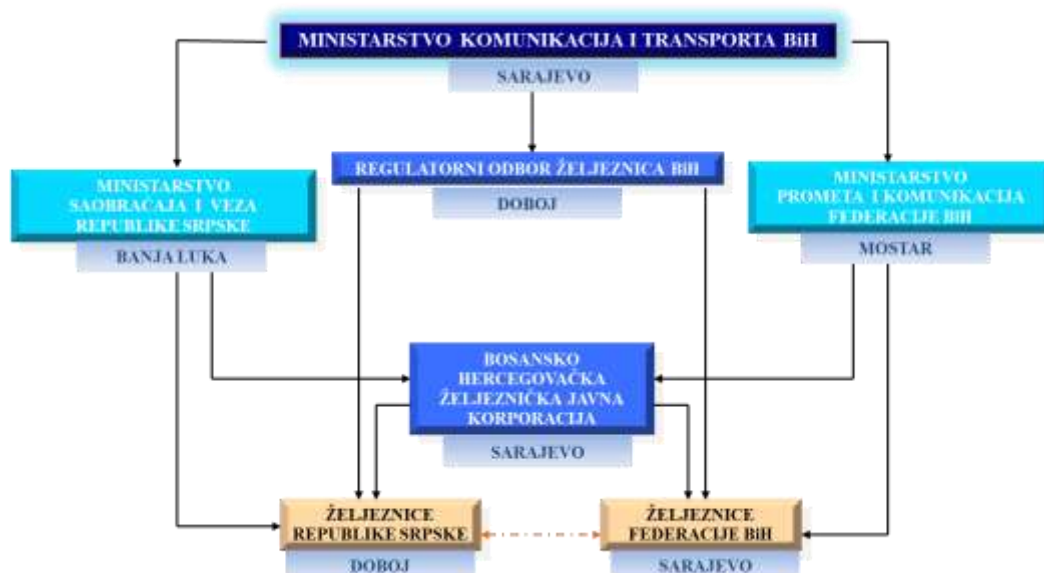
Holding Viamont je osnovan 1992. godine njenim odvajanjem od ČD–a kao građevinsko preduzeće koje obavlja rekonstrukciju željezničkih pruga. Preregistracijom u 1996. godini preduzeće je počelo, pored građevinskih poslova, da obavlja i prevoz uglja u rudnom bazenu Boemi Sever i prevoz putnika u regionalnom saobraćaju. Pokazatelji obima rada operatera su prikazani u prilogu A.

3. ANALIZA ŽELJEZNIČKOG SISTEMA I ŽELJEZNIČKIH OPERATERA U BiH

Veliki broj sistema željeznica nalaze se u fazi recesije i procesu restrukturiranja, što je i slučaj sa željeznicama u BiH. Uspješno i pravovremeno restrukturiranje uslovljeno je kvalitetnim dugoročnim planiranjem, koje je nemoguće sprovesti bez sveobuhvatne analize željezničkih operatera, kako prije donošenja dugoročnih planova, tako i za vrijeme implementacije donesenih planova. Donošenje strateških odluka u savremenim preduzećima nezamislivo je bez sprovedenog procesa analize.

U procesu definisanja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera u BiH nužno je sagledati postojeće stanje i njihove pokazatelje koji utiču na efikasnost i efektivnost.

Organizacija željezničkog sektora u BiH odražava kompleksnu političku situaciju stvorenu Dejtonskim sporazumom, koji je imao veliki uticaj na upravljanje i razvoj aktivnosti sektora. Institucionalni okvir željezničkog sektora BiH prikazan je na sljedećoj slici.

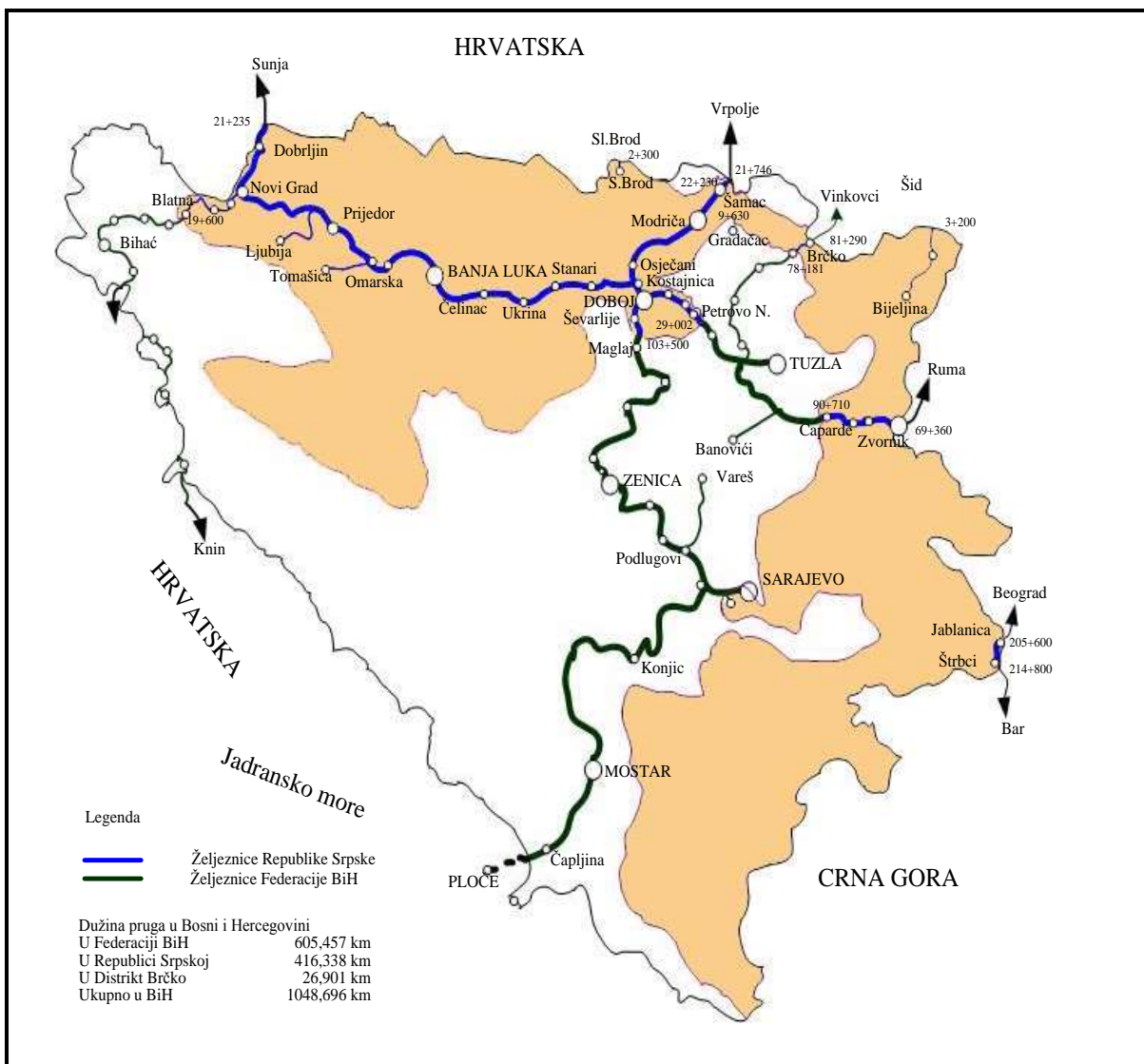


Slika 3.1. Institucionalni okvir željezničkog sektora u BiH

Institucionalno postoje dva nivoa organizacije željezničkog sektora; jedan na državnom nivou, a drugi na nivou dva entiteta, Federacije Bosne i Hercegovine i Republike Srpske. Uspostavljanje i rad zajedničkih komunikacijskih objekata i regulisanje saobraćaja između

entiteta je odgovornost Ministarstva transporta i komunikacija BiH, a takođe ovo Ministarstvo ima zadatak izrade bilateralnih sporazuma i međunarodnih ugovora. Entitetska Ministarstva su glavni nosioci državne pomoći i nadoknade za obaveze javnog prevoza kompanija ŽRS i ŽFBiH.

Poslije raspada Jugoslavije formirane su dvije nezavisne željezničke kompanije u BiH koje se bave poslovima prevoza (transport putnika i transport robe) i poslovima infrastrukture, po jedna za svaki entitet, te Bosansko hercegovačka željeznička javna korporacija (BHŽJK) kao zajednička struktura stvorena Sporazumom dva Entiteta (dodjeljivanje željezničkih pravaca za međunarodni i međuentitetski saobraćaj, sakupljanje i upravljanje stranim donacijama, itd). Na nivou države BiH Zakonom o željeznicama BiH od 2005. godine uspostavljen je Regulatorni odbor željeznica BiH (RO ŽBiH) kao upravna organizacija u Ministarstvu komunikacija i transporta BiH, gdje su objedinjene funkcije nadzora i regulisanja tržišta, bezbjednosti i nadzora, regulatorne aktivnosti i bezbjednosne istrage (Direktiva EU 2012/34/EC). Željeznička infrastruktura u BiH je u vlasništvu entiteta i data na upravljanje ŽFBiH i ŽRS. Mreža željezničkih pruga u BiH prikazna je na sljedećoj slici (3.2).



Slika 3.2. Mreža pruga željeznica Bosne i Hercegovine

Dužina željezničke mreže u BiH je 1048, 696 kilometara pruge, od toga u Federaciji BiH 605,457 km, Republici Srpskoj 416,338 km i Distriktu Brčko 26, 901 km pruge. Većina mreže se sastoji od jednokolosiječne pruge i 87 km dvokolosiječne pruge. Glavni sistem elektrifikacije je 25kV/50Hz a elektrifikovano je 776 km mreže. Željeznička pruga zadovoljava slobodni profil oznake "GA" i "GB" koji je utvrdila Međunarodna željeznička unija "UIC" i osposobljena je za vozne brzine do 120 km/h. Sposobnosti pruge da primi opterećenja od vozila na mreži željezničkih pruga u BiH su kategorije D4 (22,5 t/os), i C3 (20 t/os), izražene u tonama po osovini.

Kroz teritoriju BiH prolazi jedan koridor kao dio transevropske željezničke mreže i to Koridor Vc (Šamac – Doboj – Sarajevo – Mostar – Čapljina – Ploče) i paralelni pravac (Zvorinik – Tuzla – Doboj – Banja Luka – Novi Grad/Bosanski Novi – Bihać) sa koridorom X, koji je za za privredu BiH kao i za samu državu veoma važan pravac jer se na njemu odvija približno 70% prevoza robe i putnika u BiH. Zbog izuzetnog značaja navedenog koridora i pravca željeznički operateri u BiH će se ubrzo suočiti sa konkurencijom i radi toga moraju maksimalno razviti svoje konkurentne sposobnosti.

Mrežom pruga željezničkog sistema BiH (slika 3.2) dvije entitetske željezničke kompanije ŽRS i ŽFBiH upravljaju na sljedeći način:

ŽRS upravlja prugama:

- (Hrvatska) – državna granica – Dobrljin – Novi Grad – Banja Luka – Doboj,
- (Hrvatska) – državna granica – Šamac – Doboj – međuentitetska granica (Riječica, Federacija BiH),
- Doboj – Petrovo Novo – međuentitetska granica (Dobošnica, Federacija BiH),
- međuentitetska granica (Kalesija, Federacija BiH) – Zvornik Novi – državna granica (Srbija),
- Novi Grad – Blatna – međuentitetska granica (Otoka, Federacija BiH),
- Brčko – državna granica (Hrvatska),
- Bijeljina – državna granica (Hrvatska),
- Bijeljina – državna granica (Srbija), i
- dio pruge Jablanica – Štrbci koji je u vlasništvu ŽRS, a data je na upravljanje željeznicama Srbije.

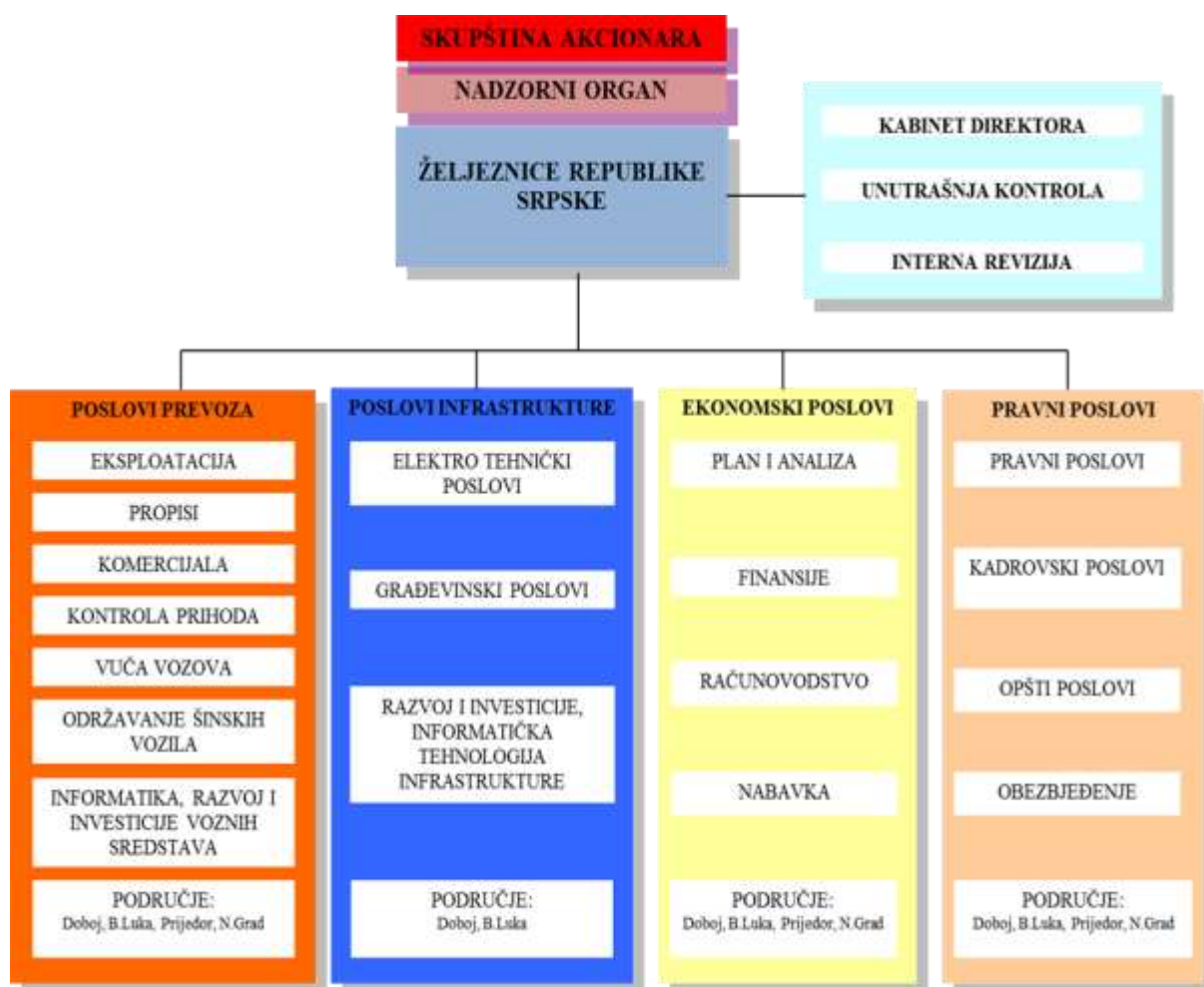
ŽFBiH upravlja prugama:

- međuentitetska granica (Riječica, Republika Srpska) – Maglaj – Zenica – Sarajevo – Mostar – Čapljina – državna granica (Hrvatska),
- međuentitetska granica (Petrovo Novo, Republika Srpska) – Tuzla-međuentitetska granica (Zvornik Novi, Republika Srpska) i
- međuentitetska granica (Blatna, Republika Srpska) – Bihać – državna granica (Hrvatska).

3.1. ŽELJEZNICE REPUBLIKE SRPSKE A.D. (ŽRS)

Kompanija Željeznice Republike Srpske je osnovana 1992. godine a restrukturirana prema Zakonu o željeznicama Republike Srpske iz novembra 2001. godine. Preduzećem upravljaju vlasnici akcija, odnosno predstavnici vlasnika, srazmjerno broju akcija (državni kapital 65%, penzioni fond 10%, fond za restituciju 5%, i privatni kapital 20%). Funkcije upravljanja i rukovođenja preduzećem obavljaju se putem Skupštine akcionara, Nadzornog odbora i Uprave preduzeća.

ŽRS je istovremeni Upravljač infrastrukture i željeznički operater za transport putnika i tereta. Organizaciona struktura preduzeća sastoji se iz sektora na funkcionalom principu i poslova preduzeća. Na slici 3.3. prikazana je organizaciona šema preduzeća sa organizacijom upravljanja i rukovođenja.

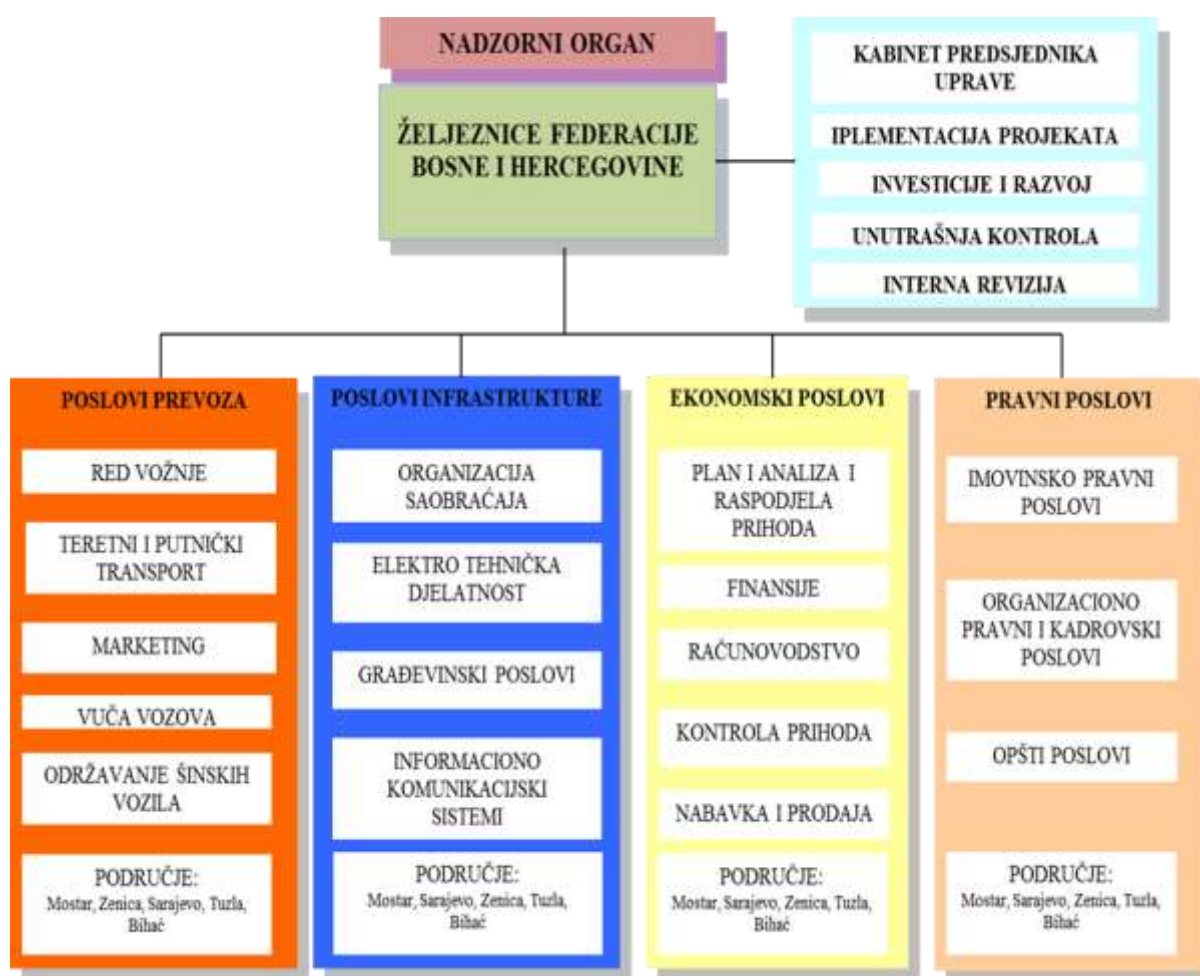


Slika 3.3. Organizaciona šema Željeznica Republike Srpske

3.2. JP ŽELJEZNICE FEDERACIJE BiH D.O.O. (ŽFBiH)

Javno Preduzeće Željeznice Federacije BiH društvo sa ograničenom odgovornošću (ŽFBiH) osnovano je prema Zakonu Federacije BiH iz oktobra 2001. godine. Vlasnička struktura preduzeća je 91,82% u vlasništvu federacije BiH, i 8,18% u privatnom vlasništvu. Funkcije upravljanja i rukovođenja preduzećem obavljaju se putem Nadzornog odbora i Uprave preduzeća.

ŽFBiH je istovremeni Upravljač infrastrukture i željeznički operater za transport putnika i tereta. Organizaciona struktura preduzeća sastoji se iz sektora na funkcionalom principu i poslova preduzeća. Na slici 3.4. prikazana je organizaciona šema preduzeća sa organizacijom upravljanja i rukovođenja.



Slika 3.4. Organizaciona šema Željeznica Federacije Bosne i Hercegovine

3.3. TEHNIČKO-EKSPLOATACIONI POKAZATELJI RADA ŽELJEZNIČKIH OPERATERA BiH

Efikasnost i efektivnost koju željeznički operateri postižu obavljajući svoju djelatnost, zavisi od rezultata rada koji su postignuti. U okviru ovog poglavlja izvršena je analiza tehničko-eksploatacionih pokazatelja rada od kojih su najznačajni broj zaposlenih, raspoloživi vozni kapaciteti, realizovani obim rada, ocjena kvaliteta i bezbjednosti rada, kao i finansijski pokazatelji.

A) Broj zaposlenih radnika željezničkih operatera BiH

U ovome trenutku ljudski resursi su jedan od najosjetljivijih segmenata procesa restrukturiranja željezničkog sektora u BiH, jer je prema standardima EU neophodno značajno smanjiti broj zaposlenih. U narednoj tabeli 3.1. prikazan je pregled broja zaposlenih radnika željezničkih operatera za transport putnika i transport robe BiH u 2014. godini.

Tabela 3.1. Broj zaposlenih po željezničkim operaterima u BiH (2014. god.)

Željeznički operater	Broj zaposlenih	
Operater ŽFBiH	Transport putnika	600
	Transport robe	734
Operater ŽRS	Transport putnika	512
	Transport robe	703

B) Raspoloživi broj voznih sredstava željezničkih operatera u BiH

Broj voznih sredstava su jedan od ključnih pokazatelja konkurentnosti željezničkih operatera na otvorenom transportnom tržištu. Ukoliko željeznički operateri u BiH žele biti konkurentni operateri u BiH i regionu moraju raspolagati sa kvalitetnim voznim sredstvima kako bi odgovorili izazovima liberalizacije željezničkog tržišta.

Trenutno stanje broja voznih sredstava željezničkih operatera u BiH karakteriše velika imobilizacija. Iako operater ŽRS raspolaže sa određenim brojem novih i modernizovanih voznih sredstava, uglavno postojeća vozna sredstva su prosječno velike starosti i premašuju 20 godina. Radni park vozila u ŽRS iznosi oko 40% u odnosu na inventarsko stanje, a u kompaniji ŽFBiH oko 55%. Sa ovakvim voznim parkom se ne može obezbijediti konkurentnost željezničkih operatera u BiH na otvorenom transportnom tržištu.

U tabeli 3.2. prikazan je sažet pregled raspoloživog broja voznih sredstava željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu.

Tabela 3.2. Raspoloživi broj voznih sredstava željezničkih operatera u BiH (2014. god.)

Željeznički operater	Raspoloživi broj voznih sredstava					
	Broj lokomotiva		Broj kola/vagona		Elektro motorni vozovi	Dizel motorni vozovi
	elektro	dizel	putnička	teretna		
Operater ŽFBiH	42	55	27	2129	7	-
Operater ŽRS	33	38	66	2438	7	4

Analiza operativnih pokazatelja željezničkog prevoza pruža uvid u obim i kvalitet usluga željezničkog prevoza. Na temelju kvalitetno sprovedene analize operativnih pokazatelja moguće je utvrditi područja u kojima je nužno ostvariti poboljšanja, odrediti ciljeve za naredni period i definisati mjere kojima će se postavljeni ciljevi ostvariti. U tom kontekstu analizirani su pokazatelji za putnički i teretni saobraćaj željezničkih operatera u BiH i to komercijalna brzina vozova, broj prevezenih putnika, putnički kilometri, vozni kilometri i realizacija reda vožnje.

C) Komercijalna brzina prevoza željezničkih operatera u BiH

Brzina transporta se može posmatrati kao operativni i kao pokazatelj kvaliteta usluge. Efikasnost i efektivnost željezničkih operatera indirektno zavisi od komercijalne brzine i vremena zadržavanja u željezničkim stanicama. Ako se uzme u obzir da organizacione mjere značajno utiču na brzinu i vrijeme putovanja u toku obrta kola, može se zaključiti da, prema tom pokazatelju, odvijanje željezničkog saobraćaja zavisi od vremena zadržavanja kola u stanicama, na robnim ili tehničkim operacijama, odnosno od pokazatelja koji su pod uticajem organizacionih mjera. Drugim riječima, kraća vremena zadržavanja kola, znače vremenski kraći obrt kola i efikasniji transport. U tabeli 3.3. prikazan je pregled prosječnih komercijalnih brzina željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu.

Tabela 3.3. Prosječna komercijalna brzina željezničkih operatera u BiH (2014. god.)

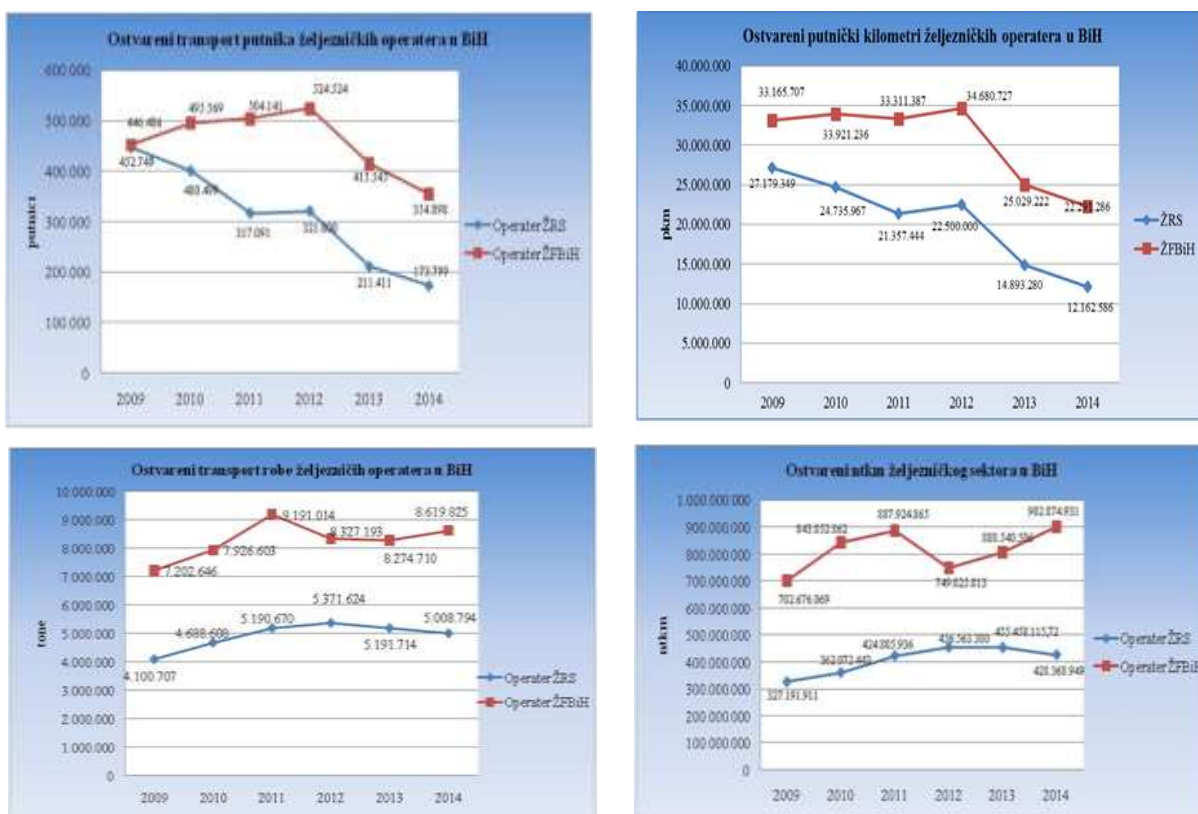
Željeznički operater		Komercijalna brzina
Operater ŽFBiH	Transport putnika	46, 6 km/h
	Transport robe	29, 6 km/h
Operater ŽRS	Transport putnika	44,35 km/h
	Transport robe	37,00 km/h

Kada se pogledaju komercijalne brzine vozova željezničkih operatera u BiH može se reći da nisu zadovoljavajuće, jer npr. na relaciji od 110 km sa komercijalnom brzinom od 40 km/h transport traje 165 minuta, dok transport drumskim prevoznim sredstvom odnosno autobusom bi trajalo 90 minuta, a automobilom 78 minuta. Kada bi se pogledali ovi podaci može se vidjeti da su operateri ne samo neefikasni, već su i nekonkurentni na tržištu usluga zbog svoje brzine. Najveći razlog za malu komercijalnu brzinu je postojeća organizacija saobraćaja i veliki broj službenih mjesta na kojima se vozovi zaustavljaju iz različitih razloga. Kao ograničavajući

faktor mora da se spomene tehnička zastarjelosti voznih sredstava i zastarjela infrastruktura koja je prvi ograničavajući faktor brzine.

D) Pokazatelji proizvodnog zadatka željezničkih operatera u BiH

U cilju egzaktnog sagledavanja pokazatelja proizvodnog zadatka, transporta putnika i robe, kao osnovne djelatnosti željezničkih operatera u BiH izvršena je analiza ostvarenog transporta putnika, putničkih kilometara, ostvareni transport robe i ostvareni netotonski kilometri za period od 6 godina i prikazane na sljedećoj slici 3.5.



Slika 3.5. Pokazatelji proizvodnog zadatka željezničkih operatera u BiH

U periodu od 2009 do 2014. godine (slika 3.5), kada je u pitanju putnički saobraćaj, uočljiv je konstantan pad obima rada (i u broju prevezenih putnika i u broju ostvarenih putničkih kilometara) na ŽRS, dok je željeznički operater ŽFBiH u periodu do 2012. godine realizovao trend blagog rasta ali u posljednje dvije godine posmatranog perioda zabilježen je značajan pad od oko 40% za navedene pokazatelje rada putničkog saobraćaja. Kada je u pitanju transport robe operater ŽRS ostvario je rast u posmatranom periodu od 20%, ali treba istaći da je u posljednje dvije godine zabilježio stagniranje pa čak i blagi pad. U isto vrijeme operater za transport robe ŽFBiH u prve dvije godine ostvarivao je veoma visoke stope rasta (25%, odnosno 16,4%), ali je već 2012. godine zabilježena stopa pada od preko 11%, da bi u posljednje dvije godine obim rada rastao po stabilnoj stopi od oko 8%.

E) Vozni kilometri željezničkih operatera u BiH

Vozni kilometri koji karakterišu rad lokomotiva i kola (elektro ili dizel motornih garnitura) željezničkih operatera na mreži željezničkih pruga u BiH za 2014. godinu prikazani su u tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Ostvareni vozni kilometri željezničkih operatera u BiH (2014. god.)

Željeznički operater		Vozni kilometri
Operater ŽFBiH	Transport putnika	1.063.707
	Transport robe	1.476.884
Operater ŽRS	Transport putnika	745.700
	Transport robe	1.492.448

Na osnovu uporedne analize voznih kilometara željezničkih operatera, može se zaključiti da operater ŽFBiH ostvaruje veći broj voznih kilometara u transportu putnika od operatera ŽRS, dok je u transportu robe obrnuto.

F) Kvalitet usluge željezničkih operatera u BiH

Kvalitet usluge je ono što predstavlja ogledalo željezničkih operatera, ono što kupac vidi kao njihovu sliku. Kupac ne vidi poslovne prostore, opremu, tehnologiju, sistem upravljanja ili organizacionu strukturu. Sve što vidi jeste kvalitet usluge prevoza željeznicom, a to je raspoloživost usluge, pogodnost-sposobnost ponuđene usluge, stabilnost usluga i pouzdanost usluga. Kvalitet usluge željezničkih operatera predstavljaju ključne kompetencije, odnosno održive konkurentske prednosti u odnosu na druge operatere i značajno utiču na efikasnost i efektivnost željezničkog operatera. Na ovom stepenu kvaliteta usluge na kom se nalaze željeznički operateri u BiH ne može se reći da su svoje potencijale uspjeli pretvoriti u ključne kompetencije, odnosno u održive konkurentske prednosti. U ovom trenutku kvalitet usluge željezničkih operatera može se posmatrati kroz kašnjenje vozova. Prosječno vrijeme kašnjenja vozova u procentima željezničkih operatera u periodu od 2012. do 2014. godine prikazano je u tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Prosječno kašnjenje vozova u procentima (%) u odnosu na red vožnje željezničkih operatera u BiH u periodu 2012. – 2014. god.

Željeznički operater		Kašnjenje vozova (%)
Operater ŽFBiH	Transport putnika	8,8
	Transport robe	31,5
Operater ŽRS	Transport putnika	21,03
	Transport robe	6,23

Analizirajući prosječna kašnjenja vozova željezničkih operatera za period od tri godine može se zaključiti da operater ŽFBiH pruža veći kvalitet usluge u transportu putnika, a operater ŽRS u transportu robe.

G) Bezbjednost željezničkih operatera u BiH

Bezbjednost je bitan činilac u opredijeljenju korisnika prevoza za pojedine saobraćajne grane, a time i značajan faktor veličine prevoza i prihoda. Pored uticaja na veličinu prevoza i prihode, bezbjednost saobraćaja utiče na poslovne rezultate, tim što se željezničkim nesrećama, oštećuju i uništavaju sredstva rada velike vrijednosti, prouzrokuju velike materijalne štete i prekidi saobraćaja koji takođe predstavlja trošak cijelom željezničkom sektoru BiH. Pregled broja ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu prikazan je u tabeli 3.6.

Tabela 3.6. Pregled ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata željezničkih operatera u BiH za 2014. god. (u odnosu na 10^6 voz km)

Željeznički operater	Ozbiljne nesreće	Nesreće	Incidenti (povrede)
Operater ŽFBiH	5/(2,54 x 10^6)	1/(2,54 x 10^6)	4/(2,54 x 10^6)
Operater ŽRS	3/(1,49 x 10^6)	1/(1,49 x 10^6)	8/(1,49 x 10^6)

Evropska unija je u svojim dokumentima propisala granicu zajedničkih bezbjednosnih ciljeva radi smanjenja broja nesreća u željezničkom saobraćaju. Granica iznosi 2590 FWSIs (fatalities and weighted serious injuries) po milijardama voznih kilometara za zemlje EU. Analizom se može zaključiti da su željeznički operateri u BiH, u okviru zadovoljavajućih vrijednosti zajedničkih bezbjednosnih ciljeva.

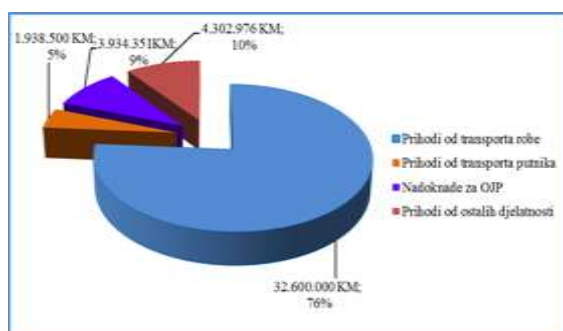
H) Prihodi željezničkih operatera u BiH

Željeznički operateri prihode ostvaruje prodajom proizvoda i usluga. Osnovna djelatnost je transport putnika i transport robe, a prihodi iz ove djelatnosti utvrđuju se kao transportni prihodi. Osnovu prihoda u oba željeznička operatera čine:

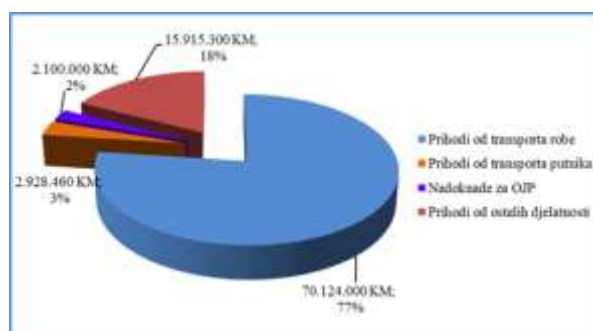
- Prihodi od transporta robe,
- Prihodi od transporta putnika,
- Državna pomoć,
- Nadoknade za OJP (obaveze javnog prevoza) i
- Prihodi od ostalih djelatnosti (prihodi od prodaje robe, prihodi od donacija, finansijski prihodi i drugi poslovni prihodi).

Osnovna struktura realizovanih prihoda u 2014. godini oba željeznička operatera u BiH prikazana je na slici (3.6.).

a) ŽRS



b) ŽFBiH



Slika 3.6. Ostvareni ukupan prihod željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu

Na osnovu analize ostvarenih prihoda željezničkih operatera u BiH može se zaključiti da najveći dio prihoda operateri ostvaruju od transporta robe, kod ŽRS oko 33 miliona konvertibilnih maraka (KM), a željeznica FBiH oko 70 miliona KM. Aktuelna situacija u pogledu transporta putnika željezničkih operatera u BiH je slaba u poređenju sa predratnim periodom. Tako na primjer, sektor željeznica BiH 1990. godini je vršio transport oko 13 miliona putnika, a 2014. godine je realizovalo transport od oko 500 hiljada putnika. Prihodi od transporta putnika za Operatera ŽRS iznose oko 2 miliona KM, a Operatera ŽFBiH oko 3 miliona KM.

I) Troškovi željezničkih operatera u BiH

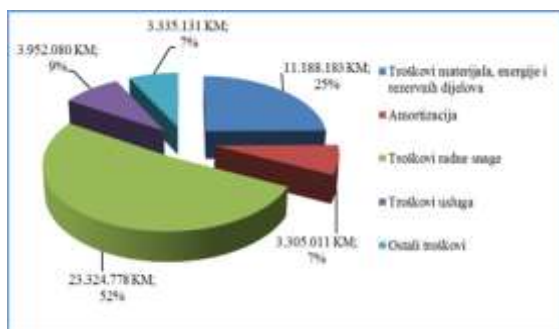
Sa aspekta ekonomskog interesa željezničkih operatera, svaki utrošak sredstava za proizvodnju i radne snage zaposlenih), koja svojom aktivnošću pokreće proces proizvodnje u cilju stvaranja saobraćajnih usluga, predstavlja realni trošak proizvodnje. Cilj svake, pa tako i poslovne ekonomije željeznice, treba da bude zasnovan na racionalnoj upotrebi raspoloživih proizvodnih resursa, odnosno elemenata ulaganja u proces transporta.

Za pravilno shvatanje karakteristika troškova neophodno je poznavanje razlika između pojedinih pojmova sa kojima se često srećemo u ovoj oblasti, a čine ih izdaci, troškovi i utrošci koji se ne mogu uvijek poistovijetiti sa troškovima. U tom smislu, pod troškovima se podrazumijeva novčani iznos svih proizvodnih činilaca koji su utrošeni za proizvodnju određenih vrsta saobraćajnih usluga.

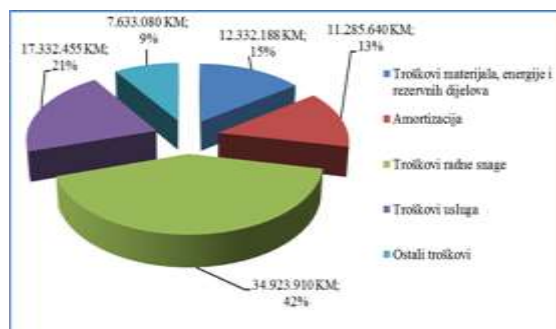
Za transportnu uslugu, kao specifičan proizvod, odnos utrošenih proizvodnih faktora (troškova proizvodnje, usluge) i ostvarenih prihoda je utoliko značajniji, jer se istovremeno sa proizvodnjom ostvaruje i njena konačna potrošnja, realizuju efekti ulaganja u proces transporta i ostvaruju proizvodni ciljevi (finansijski rezultat poslovanja preduzeća).

Sa stanovišta željezničkih operatera, transportni troškovi se definišu kao vrijednost činilaca utrošenih u procesu proizvodnje transportnih usluga, odnosno u procesu transporta putnika i transporta robe. U okviru analize troškova željezničkih operatera u BiH, razmatrani su troškovi iz raspoloživih podataka i to Izvještaja o poslovanju za 2014. godinu oba željeznička operatera. Troškovi oba željeznička operatera u BiH prikazani su na slici 3.7.

a) ŽRS



b) ŽFBiH



Slika 3.7. Ostvareni ukupni troškovi željezničkih operatera u BiH za 2014. godinu

Na osnovu izvršene analize troškova oba željeznička operatera u BiH, može se zaključiti da troškovi radne snage (zaposlenih) predstavljaju najveći dio ukupnih troškova u oba željeznička operatera. U ŽRS prema podacima iz 2014. godine troškovi radne snage (zaposlenih) čine 58% ukupnih troškova, a u ŽFBiH 46% ukupnih troškova.

4. DEFINISANJE I VREDNOVANJE KRITERIJUMA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

Donošenje odluke o izboru kriterijuma za ocjenu efikasnost i efektivnost željezničkih operatera je veoma složen proces i spada u domen strateških odluka. Donošenje ove odluke je u funkciji upravljanja željezničkim operaterom i kao takva ova aktivnost je složena, kreativna i permanentna.

Rješavanje niza složenih pitanja u okviru definisanog problema podrazumijeva neophodnu podršku znanja iz raznih oblasti: teorije odlučivanja, teorije upravljanja, sistema za podršku odlučivanju, ekspertskih sistema; zatim poznavanje realnog sistema: transporta kao sistema i željeznice kao podsistema, i njihovih veza sa okruženjem. Posebno značajno je praćenje iskustava u širem okruženju u Evropi.

Danas se teorija i metode odlučivanja intenzivno razvijaju, a naročito se razvijaju matematičko-računarski alati, programski paketi i programski sistemi koji se zajedničkim imenom nazivaju modeli ili sistemi za podršku odlučivanju koji se rade na osnovu odgovarajućih softverskih paketa. Implementacija ovih softvera i rad sa njima je suštinski prelaz na savremene metodologije i tehnologije odlučivanja. Rastući interes za primjenu ovih modernih alata analize i sinteze ekspertskih i drugih stručnih i političkih znanja u procesu odlučivanja proističe iz rastuće svijesti da računarski podržano odlučivanje predstavlja višestruku korist za sve članice društva, umanjuju subjektivnost i povećavaju odgovornost za odluke na svim nivoima odlučivanja.

Sigurno je da vrsta problema i količina informacija koje ga opisuju i njihova dostupnost opredjeljuju metodu za odlučivanje. Da bi donijeli odluku o izboru kriterijuma za efikasnost i efektivnost željezničkih operatera, neophodno je vrednovanje predloženih varijantnih rješenja različitih kriterijuma. Kako ih vrednovati ključno je pitanje kod opredjeljenja metode. Širok je spektar kriterijuma koji mogu biti proučavani kada je u pitanju efikasnost i efektivnost željezničkih operatera. U većini slučajeva postoji više kriterijuma koji su vrlo često međusobno konfliktni. Za izbor najbolje metode vrednovanja ili odlučivanja kod izbora kriterijuma dosadašnja iskustva i literatura iz ove oblasti ukazuju da problem treba rješavati metodama višekriterijumskog odlučivanja. U ovom radu je eksperimentisano sa jednom od najpopularnijih metoda za donošenje odluka danas - Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces (FAHP).

Metoda AHP je vrlo raširena, u upotrebi je već preko 25 godina i razvijen je veći broj softvera za njenu podršku u primjeni. U daljem izlaganju karakteristika višekriterijumskog odlučivanja kao i u opisu klasične metode AHP i fazi AHP navedeni su argumenti za ova opredjeljenja.

4.1. IZBOR METODE VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA ZA RJEŠAVANJE PROBLEMA

U teoriji i praksi ustalilo se stanovište da se jednokriterijumskim odlučivanjem vrši isuviše gruba i u mnogim slučajevima neprihvatljiva aproksimacija realnih pojava, što često iskrivljuje problem i dovodi do neadekvatne konačne odluke. Nedostatak jednokriterijumskog odlučivanja proizilazi iz činjenice da se kvalitet rješenja ocjenjuje samo na osnovu jednog kriterijuma. U slučaju rješavanja izbora relevantnih kriterijuma za efikasnost i efektivnost željezničkih operatera postoji više kriterijuma koji su između sebe konfliktni pa je veoma teško i skoro nemoguće matematički precizno opisati sve iteracije koje postoje u rješavanju problema jednokriterijumskim pristupom. Zbog toga jednokriterijumskim odlučivanjem se ne može na adekvatan način pristupiti rješavanju datog problema te se primjenjuju različite metode višekriterijumskog odlučivanja. Višekriterijumsko odlučivanje pomaže donosiocu odluke u izboru rješenja na osnovu većeg broja, najčešće konfliktnih, kriterijuma koji se istovremeno razmatraju, i našlo je vrlo široku primjenu u oblasti strateškog planiranja. Osobine višekriterijumskog odlučivanja su (Čupić i sar., 2003.):

- Veći broj kriterijuma ili atributa, koje mora kreirati donosilac odluka,
- Konflikti među kriterijumima, kao najčešći slučaj kod realnih problema,
- Nesamjerljive (neuporedive) jedinice mjere, jer, po pravilu, svaki kriterijum, odnosno atribut ima različite jedinice mjere i
- Rješavanje problema strateškog planiranja i izbora najbolje akcije (alternative) ili izbor najbolje akcije iz skupa prethodno definisanih konačnih akcija.

Faza procesa izbora modela donosi se na bazi više različitih kriterijuma koji su često međusobno i protivriješni. Izbor kriterijuma iz skupa ponuđenih kriterijuma, koji generalno ispunjavaju postavljene zahtjeve, povlači pitanje kako izabrati relevantne kriterijume za model ocjene efikasnosti i efektivnosti. Problem se i dalje komplikuje činjenicom da nisu svi kriterijumi iste važnosti, niti im se dodjeljuju iste vrijednosti pondera, kao i čest slučaj kada se vrijednosti pojedinih kriterijuma ne mogu izraziti kvantitativno već kvalitativno.

Problem donošenja odluke u izboru relevantnih kriterijuma predstavlja tipičan zadatak višekriterijumskog odlučivanja i rangiranja u cilju donošenja odluke sa sljedećim karakteristikama:

- Ima više kriterijuma po kojima se donosi odluka,
- U odlučivanju učestvuje veći broj lica sa različitim nivoom značajnosti,
- Postojanje konflikta među kriterijumima,
- Nejednaka važnost kriterijuma,
- Značaj pojedinih kriterijuma za korisnike usluga kao i sama preferencija donosilaca odluke po pojedinim kriterijumima koji se mijenjaju u vremenu i potrebno ih je periodično provjeravati i
- Neuporedivost jedinica mjere - vrijednosti kriterijuma izražene su u različitim jedinicama mjere.

Niz metoda koje pripadaju oblasti višekriterijumske analize i rangiranja - Više Kriterijumskom Odlučivanju (VKO) je pogodan za rješavanje ovakvih i sličnih problema. U principu, postoji konačan broj varijanti za izbor, pri čemu ne postoje eksplicitno definisana ograničenja, već su ona uključena u attribute. Razvijeno je više metoda za rješavanje problema VKO (posebno višekriterijumskog rangiranja), među kojima se mogu izdvojiti svojom primjenom u savremenom menadžmentu metode ELECTRE (I, II, III i IV), PROMETHEE (I, II, III i IV), AHP i dr.

Metod ELECTRE (ELimination Et Choice Translating REaliti) sastoji se od upoređenja parova varijanti, prvo se ispituje stepen saglasnosti između težina preferencije i uparenih veza dominacije (između pojedinih varijanti), a potom stepen nesaglasnosti po kome se ocjena težina pojedinih varijanata međusobno razlikuje. Nedostaci ove metode su nesavršenost instrumenata kao što su prosječni indeksi saglasnosti i nesaglasnosti, nemogućnost određivanja redoslijeda potpunih preferencija (dominacija) i dr. (Čičak, 2003.)

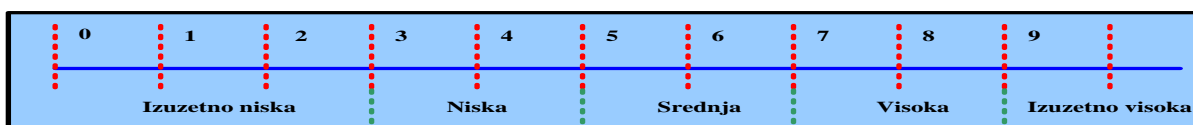
Metod PROMETHEE (Preference Ranking Organizacion METHod for Enrichment Evolution) daje parcijalni, potpuni i intervalni poredak varijanti. Karakteristika ove metode predstavlja korišćenje šest tzv. generalizovanih kriterijuma (funkcija preferencije) za definisanje preferencija donosioca odluke o konkretnim kriterijumima problema (Čičak, 2003.).

Sa aspekta korisnika - donosioca odluke, u izboru višekriterijumskog metoda opredjeljujući su lakoća korišćenja i razumljivost metode. Izbor odgovarajuće metode VKO u potpunosti je determinisan karakteristikama samog problema, nivoom kompleksnosti kao i iskustvom korisnika u primjeni različitih metoda.

Za sve ove metode značajno je objasniti sljedeće aspekte (Čupić i sar., 2003.):

- Kvantifikacija kvalitativnih atributa,
- Modifikacija atributa istog kriterijuma,
- Normalizacija i linearizacija atributa i
- Definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma.

Kvantifikacija kvalitativnih atributa - Priroda kriterijuma je takva da kriterijumske vrijednosti za varijante često nije moguće izraziti brojnim vrijednostima, već se one izražavaju opisno. Modeli VKO zahtijevaju korišćenje kvantitativnih brojnih podataka, te je neophodno naći način kako u slučajevima kada postoje kvalitativni (opisni) podaci pretvoriti ih u brojne podatke. U tu svrhu razvijeno je, i u praksi se primjenjuje, više metoda, kao što su linearna skala za kvantifikaciju kvalitativnih atributa i ekspertske ocjenjivanje. Linearna skala kvantifikacije prikazana je na slici 4.1. Utvrđivanjem brojne vrijednosti atributa u skladu sa skalom brojnih vrijednosti eksperti ocjenjuju kriterijume, zasnovane na stručnom iskustvu u datoj oblasti.



Slika 4.1. Linearna skala kvantifikacije

Normalizacija i linearizacija atributa - Da bi se mogli uporediti kriterijumi različitih vrijednosti i različitih jedinica mjere vrši se normalizacija i linearizacija kriterijumskih varijanti.

Transformacijom atributa vrši se eliminacija jedinica mjere i svođenje kriterijumskih vrijednosti na bezdimenzionalne vrijednosti.

Definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma (pondera) - Važnost pojedinih kriterijuma i određivanje njihovih relativnih težina u modelima višekriterijumskog odlučivanja predstavljala specifičan problem. Problem određivanja težina kriterijuma, s obzirom na subjektivnost onoga ko odlučuje, kao i njegov veliki uticaj na krajnji rezultat zahtijeva posebnu pažnju. Ako zbir težinskih koeficijenata iznosi 1 onda se radi o normalizovanim težinama.

Polazeći od navedenih karakteristika definisanog problema pri izboru su se koristila i pitanja u specifikaciji metoda višeatributne analize prema taksonomiji Hwanga i Yoon-a (1981). Takođe, korišćeno je drvo odlučivanja za izbor metode kod diskretnih slučajeva autora Tegheim, Delhaye i Kuhnsch (1989). Uzimajući u obzir složenost problema i osjetljivost na promjene težinskih koeficijenata (s obzirom da u njemu učestvuje veći broj donosilaca odluke, u višestrukim intervalima i veći broj kriterijuma) za razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti iz skupa navedenih metoda izdvaja se upravo metoda AHP.

Karakteristike date metode koje oslikavaju njenu pogodnost za rješavanje definisanog problema su:

- Proces donošenja odluke uključuje proces učenja, debatovanja i revidiranja prioriteta i mogućnosti. Donosiocima odluke potrebno je vrijeme da bi razmislili, prikupili dodatne informacije, da bi pregovarali pošto se radi o grupnom odlučivanju različitih nivoa značajnosti. Sve to AHP omogućuje.
- Zbog više učesnika i konfliktnih interesa proces odlučivanja kod definisanja relevantnih kriterijuma za efikasnost i efektivnost može da bude komplikovan i da traje. AHP pomaže i skraćuje proces odlučivanja kroz uvide koje ova metoda može da generiše.
- AHP ukazuje gdje su tačke najvećeg neslaganja, gdje je potrebno više informacija. Idući kroz proces, finalni rezultat može biti različit od prvobitnih nagovještaja ili će se intuitivni stavovi promijeniti poslije detaljnog razmatranja problema. AHP treba, i pomoći će, prirodni proces donošenja odluke koji je često zapravo i najuvjerljiviji.
- AHP, za razliku od drugih metoda, dozvoljava donosiocima odluke da prave greške prilikom definisanja preferencije. AHP ne zahtijeva od donosilaca odluke da budu konzistentni, već obezbijeduje mjeru nekonzistentnosti, kao i metod za smanjivanje te mjere ukoliko se smatra da je ona visoka.

4.2. METODA ANALITIČKIH HIJERARHIJSKIH PROCESA (AHP)

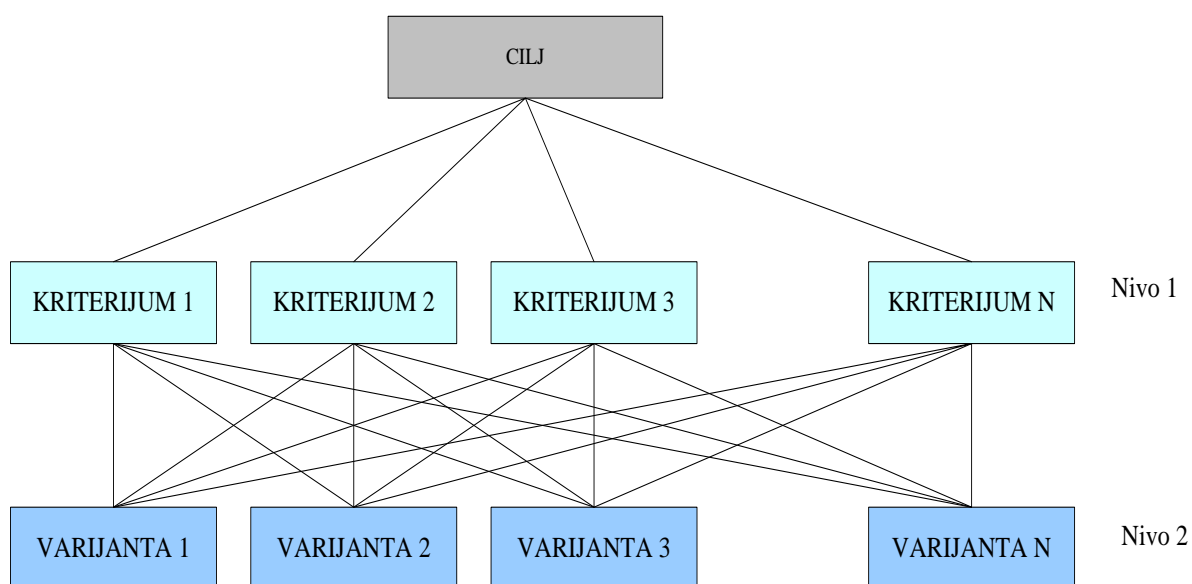
Analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) je metoda višekriterijumske analize i odlučivanja koju karakterišu analiza scenarija i donošenje odluka konzistentnim vrednovanjem hijerarhija koje čine ciljevi, kriterijumi, podkriterijumi i alternative. Metoda pripada oblasti višekriterijumskog odlučivanja u prisustvu konfliktnih ciljeva, a vrednovanje mogućih odluka sprovodi se u ambijentu kompromisa. Taj princip AHP-a omogućava traženje kompromisnog (najboljeg) umjesto optimalnog rješenja, pošto takvo praktično i ne postoji kod ovakvih problema. Idejnu i matematičku postavku AHP-a dao je Thomas Saaty 1980. godine.

AHP je specifičan alat za analizu hijerarhijski uređenih elemenata odlučivanja. Problem odlučivanja se prethodno analizira i razlaže na uticajne elemente, pa tek onda konstruiše hijerarhija odlučivanja (Vešović i Bojović, 1996.). Metod zatim podrazumijeva vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma i alternativa), uglavnom u smjeru "odozgo-nadole", iako može obrnuto i kombinovano. Zadnji korak je sinteza svih vrednovanja i po utvrđenom matematičkom modelu određuju težinske vrijednosti elemenata hijerarhije. Donosilac odluke može da rangira elemente odlučivanja i po horizontalnom i po vertikalnom smislu, pošto je zbir težinskih vrijednosti elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak 1.

AHP omogućava interaktivnu analizu osjetljivosti postupka vrednovanja na konačne rangove elemenata hijerarhije. Metod karakteriše osobina da se tokom vrednovanja elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, može provjeravati konzistentnost rezonovanja donosioca odluka i tako pratiti ispravnost dobijenih težinskih vrijednosti i rangova alternativa i kriterijuma.

AHP je tehnika koja se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiju gdje je cilj na vrhu hijerarhije, a kriterijumi, podkriterijumi i alternative su na nižim nivoima. Metod može da ima nekompletnu hijerarhiju, odnosno element na nekom nivou ne mora da bude kriterijum za sve elemente u podnivou. Takav vid hijerarhije dijeli se na podhijerarhije kojim je zajednički jedino element na vrhu hijerarhije.

AHP metoda se zasniva na konceptima *analitike, hijerarhije i procesa*. *Analitika* označava da AHP u svom radu koristi isključivo numeričke elemente. Ukoliko i ima lingvističkih poređenja onda se prevode u brojeve. Ovo omogućuje da sva poređenja koja se daju budu izmjerena i prezentovana analitički. *Hijerarhija* omogućuje postavljanje problema na različitim nivoima što omogućuje lakše razumijevanje. AHP razlikuje četiri nivoua: ciljeve, kriterijume, podkriterijume i alternative (moguća rješenja). *Proces* - metoda treba prvenstveno da skрати proces odlučivanja, jer vrijeme trajanja donošenja odluke u pojedinim situacijama traje dugo iz različitih razloga, a naročito kad se kolektivno (grupno) odlučuje.



Slika 4.2. Primjena hijerarhije u AHP

Ova metodologija daje veliku fleksibilnost iz razloga što kod složenih sistema gdje participira veliki broj alternativa i kriterijuma veoma lako se nalaze relacije između uticajnih faktora, prepozna njihov uticaj i odredi dominantnost jednog faktora u odnosu na drugi (Čupić, i sar., 2003.). Kako AHP drži sve dijelove hijerarhije u određenoj vezi onda je jednostavno vidjeti kako promjena jednog faktora utiče na ostale faktore. U suštini, metoda ne insistira na razlikama između kvantitativnih i/ili kvalitativnih kriterijuma, niti mogućim razlikama u matrici kvantitativnih kriterijuma.

Metoda AHP po svojoj prirodi spada u fleksibilne metode u kojima se složeni problemi rasčlanjuju na hijerarhiju gdje se u analizu uključuju kvalitativni i kvantitativni aspekti problema u kojima se određuje dominantnost jednog faktora problema u odnosu na drugi. U ovom slučaju može da se uoči kako promjena jednog faktora odlučivanja utiče na ponašanje ostalih faktora. O značajnosti AHP metode dovoljno govori i činjenica da je ovaj metod detaljno proučavan i unapređivan putem mnogih doktorskih disertacija i naučnih radova na domaćim i svjetskim naučnim institucijama. Čak postoji i nekoliko naučnih konferencija čija osnova tema jeste AHP metod, što svakako potvrđuje njen kvalitet i aktuelnost. Upravo, imajući u vidu da su razvijeni mnogobrojni radovi o matematičkoj osnovi AHP-a, u predmetnoj doktorskoj disertaciji neće biti detaljno prikazan matematički opis AHP metode (pošto je ista opšte poznata) pa se stoga čitalac upućuje na opis metode u referenci Saaty, (1986).

4.3. FAZI ANALITIČKI HIJERARHIJSKI PROCES (FAZI - AHP)

Različite metode za prevođenje prethodno pomenute AHP metode u njen fazi oblik date su u literaturi (Bottani, 2005.; Mikhailov, 2002.). Dalje, u radu (Van Laarhoven i Pedrcyz, 1983.) predlaže se prva studija koja uvodi principe fazi logike u AHP metod, u kojoj se koriste trouglasti fazi brojevi. Istovremeno, istraživanje iz Buckley (1985), inicira da se trapezoidnim fazi brojevima izražavaju procjene donosilaca odluka dok su autori studije (Boender i sar. 1989.) predstavili modifikaciju fazi višekriterijumske metode koja je predložena u radu Chang (1996). U istraživanju iz rada (Chang, 1996) težine kriterijuma se izračunavaju kao minimizacija logaritamske regresione funkcije. Na taj način, težine alternativa se računaju po svakom kriterijumu ponaosob, dok se agregacijom izračunatih težina može odrediti fazi konačan rezultat alternativa. Studija (Cebi i Bayraktar, 2003.) predstavlja jedan novi pristup za rješavanje fazi AHP (FAHP) koji koristi trouglaste fazi brojeve. Ovaj pristup nazvan je prošireni analitički metod koji se može sumirati na sljedeći način: definisati funkciju pripadnosti za svaki atribut i pod-atribut, zatim izračunati njihov stepen pripadnosti i na kraju primijeniti fazi AHP za agregaciju težina.

4.4. FAZI BROJEVI I FAZI OPERACIJE

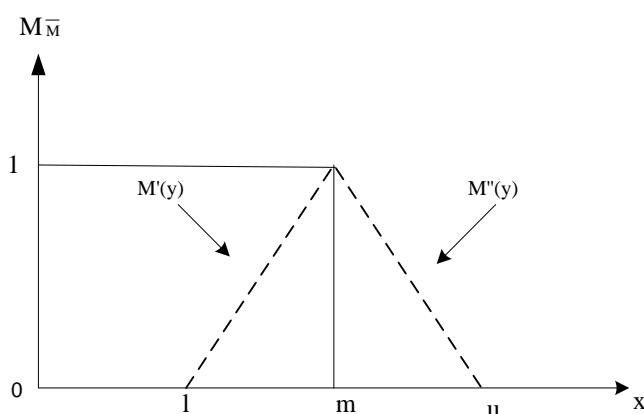
Fazi skupovi generalno koriste trouglaste, trapezoidne i Gausove fazi brojeve, koji konvertuju neizvjesne brojeve u fazi brojeve. Korišćenje komplikovanijih fazi brojeva kao što su trapezoidni ili Gausovi, omogućava precizniji opis problema odlučivanja. Međutim, trouglasti fazi brojevi se takođe dosta primjenjuju i to naročito u sljedećim okolnostima:

- kada postoji veća kompleksnost izračunavanja kao posljedica složenosti funkcija;

- kada se pojednostavljaju fazi matematičke operacije usljed korišćenja trouglastih fazi brojeva;
- kada se teže definišu funkcije pripadnosti kao posljedica složenosti fazi brojeva;
- kada trouglasti fazi brojevi efikasno reprezentuju procjene koje su donijete od strane većeg broja donosilaca odluka.

Za rješavanje problema definisanja i vrednovanja kriterijuma za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera u doktorskoj disertaciji će biti korišćeni trouglasti fazi brojevi prema sljedećim definicijama:

Definicija 1. Fazi skup je klasa objekata okarakterisana funkcijom pripadnosti, u kome se svakom objektu dodjeljuje stepen pripadnosti na intervalu $[0,1]$ (Zadeh, 1965.). Fazi skup koji se najčešće predstavlja oznakom " \tilde{M} ", definiše se podskupom \tilde{M} sa funkcijom pripadnosti $\mu(x/\tilde{M})$ (slika 4.3.). (Kabir i Akhtar Hasin, 2011.).



Slika 4.3. Trougaoni fazi broj \tilde{M}

Definicija 2. Trouglasti fazi brojevi se jednostavno označavaju kao $(l/m, m/u)$ ili (l, m, u) .

Parametri l, m, u su najmanja moguća vrijednost, najperspektivnija vrijednost i najveća moguća vrijednost koja opisuje neki fazi događaj, respektivno. Trouglasti tip funkcije pripadnosti \tilde{M} fazi broja može biti predstavljen na sljedeći način (Cheng, 1999.):

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{ako je } l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{ako je } m \leq x \leq u \\ 0 & \text{ako je } x \geq u \end{cases} \quad (4.1)$$

Definicija 3. Operacioni zakoni dva trougaona fazi broj $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ i $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$, definisani su na sljedeći način:

$$\tilde{M}_1 + \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (4.2)$$

$$\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (4.3)$$

$$\tilde{M}_1 \times \tilde{M}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4.4)$$

$$\tilde{M}_1 / \tilde{M}_2 = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2) \quad (4.5)$$

$$(\tilde{M}_1)^{-1} = (1 / u_1, 1 / m_1, 1 / l_1) \quad (4.6)$$

Više o algebarskim operacijama sa fazi brojevima može se pronaći u Kahraman i sar., (2002).

Fazi skupove, fazi brojeve i lingvističke promjenljive proučavali su autori studija (Zimmermann, 1987.; Zadeh, 1965.), i drugi autori.

4.5. FAZI PROŠIRENA ANALIZA AHP METODA

Neka je $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ skup objekata, a $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ skup ciljeva. Prema metodologiji proširene analize koju je postavio Chang za svaki uzeti objekat vrši se proširena analiza cilja g_i . Vrijednosti proširene analize m za svaki objekat mogu biti predstavljene na sljedeći način (Chang, 1992.):

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, M_{gi}^m, i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.7)$$

gdje su M_{ni}^j , $j = 1, 2, \dots, m$, fazi trougaoni brojevi. Chang-ova proširena analiza sadrži sljedeće korake:

Korak 1: Vrijednosti fazi proširenja za i -ti objekat date su izrazom (4.8):

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (4.8)$$

Da bi se dobio izraz $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$ potrebno je izvršiti dodatne fazi operacije sa m vrijednostima proširene analize, što je predstavljeno sljedećim izrazima (4.9), (4.10):

$$\sum_{j=1}^n M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4.9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4.10)$$

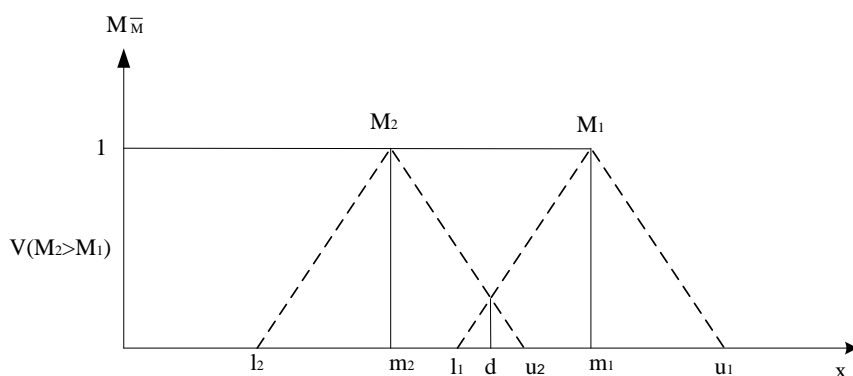
Odnosno, potrebno je izračunati inverzni vektor (4.11):

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ji}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (4.11)$$

Korak 2: Stepen mogućnosti $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$, $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ definisan je izrazom (4.12):

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{ostalo} \end{cases} \quad (4.12)$$

gdje je d ordinata najvećeg presjeka u tački D između μ_{M_1} i μ_{M_2} kao što je prikazano na slici broj 4.4.



Slika 4.4. Presjek između M_1 i M_2

Za poređenje M_1 i M_2 , potrebne su obje vrijednosti $V(M_1 \geq M_2)$ i $V(M_2 \geq M_1)$

Korak 3: Stepen mogućnosti da konveksni fazi broj bude veći od k konveksnog broja M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) može se definisati izrazom (4.13):

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (4.13)$$

Pretpostavimo da važi izraz (4.14):

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), k \neq i, k = 1, 2, \dots, n \quad (4.14)$$

Težinski vektor je dat sljedećim izrazom (4.15):

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad (4.15)$$

gdje je A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n elemenata

Korak 4: Putem normalizacije, težinski vektor se svodi na izraz (4.16):

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad (4.16)$$

gdje W ne predstavlja fazi broj.

U cilju obezbjeđenja odgovarajućeg kvaliteta odlučivanja neophodno je izvršiti testiranje konzistentnosti upotrebom takozvanog indeksa konzistentnosti. U okviru predmetne doktorske disertacije za testiranje ovog indeksa usvojena je Saaty-ijeva metodologija izračunavanja Consistency Ratio (CR) i to na sljedeći način:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.17)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.18)$$

gdje je RI slučajni indeks koji zavisi od broja kriterijuma n (Golden, 1989.; Do, Q. H., i Chen, 2013.).

Ukoliko je za matricu upoređivanja vrijednost za CR jednaka ili manja od 0.1, takva vrijednost je u ovom slučaju prihvatljiva i kvalitet odlučivanja je odgovarajući. Kada je vrijednost za CR neprihvatljiva, tj. veća od 0.1, u tom slučaju donosilac odluke je u obavezi da ponovi proces upoređivanja po parovima (Liou, i Wang, 1992.). U cilju određivanja vrijednosti λ_{max} iz izraza Golden (1989), neophodno je od fazi matrice upoređivanja formirati crisp matricu upoređivanja. U literaturi, ovaj process se naziva defazifikacija i za potrebe ove disertacije kao pristup defazifikaciji usvojen je pristup koji je dat u Liou i Wang, (1992).

Neka je $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, trougaoni fazi broj. Transformacija ovog fazi broja u crisp broj može se realizovati primjenom sljedećeg matematičkog izraza(4.19):

$$a_{ij} = [\lambda * l_{ij}^\alpha + (1 - \lambda) * u_{ij}^\alpha], 0 \leq \lambda \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4.19)$$

gdje je:

$$\alpha - \text{predstavlja izložene preference donosilaca odluke}; \quad (4.20)$$

λ - predstavlja rizik tolerancije od strane donosilaca odluke;

l_{ij}^α - je lijeva krajnja vrijednost α za a_{ij} koja se izračunava na sljedeći način:

$$l_{ij}^\alpha = (m_{ij} - l_{ij}) * \alpha + l_{ij}$$

u_{ij}^α - je desna krajnja vrijednost α za a_{ij} koja se izračunava na sljedeći način:

$$u_{ij}^\alpha = u_{ij} - (u_{ij} - m_{ij}) * \alpha \quad (4.21)$$

Na ovom mjestu treba napomenuti da se vrijednost za α posmatra kao stabilan ili fluktuirajući uslov. (Hus i Yang, 2000.). Opseg neodređenosti je najveći kada je $\alpha = 0$. To znači da sa povećanjem vrijednosti za α , okruženje za donošenje odluke se stabilizuje i postaje povoljnije (Chang i sar., 2009.).

Dodatno, vrijednost za λ razmatra se kao stepen optimizma donosioca odluke i opseg ove vrijednosti je između 0 i 1. Kada je $\lambda = 0$, tada je donosilac odluke više optimističan, i obrnuto kada je $\lambda = 1$, donosilac odluke je pesimista (Do i Chen, 2013.).

Za potrebe doktorske disertacije, uzeta je vrijednost $\alpha = 0.5$ koja označava da je okruženje za odlučivanje dovoljno stabilno, dok vrijednost $\lambda = 0.5$, ukazuje da je stav donosioca odluke takoreći fer. Nakon što se izvrši konverzija fazi broja u crisp broj primjenom opisane metodologije, tada je moguće odrediti vrijednost za λ_{max} primjenom izraza (4.22), (4.23):

$$A * W = \lambda_{max} * W \quad (4.22)$$

$$[A - \lambda_{max}] * W \quad (4.23)$$

gdje w označava vektor sopstvenih vrijednosti matrice A .

4.6. IZBOR KRITERIJUMA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

U procesu definisanja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti nužno je sagledati i definisati kriterijume koji utiču na efikasnost i efektivnost i ocjenu obima rada željezničkog operatera. Kriterijumi se biraju da se omogući sprovođenje ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. U svrhu definisanja i vrednovanje kriterijuma izvršeno je istraživanje najčešće korišćenih kriterijuma za efikasnost i efektivnost željezničkih preduzeća iz dostupne literature.

Na osnovu sprovedenog istraživanja zaključeno je da se koristi veći broj kriterijuma. Na osnovu analize mogu se definisati sljedeće grupe kriterijuma: kriterijumi resursa, finansijski kriterijumi, operativni kriterijumi (kriterijumi funkcionisanja), kvaliteta usluga i bezbjednosti.

Menadžment željezničkih operatera može pratiti parcijalne aktivnosti i procese uz pomoć ovih kriterijuma, ali ne može steći potpunu sliku o funkcionisanju cjelokupnog sistema. Neophodno je definisati integrisanu mjeru koja će na neki način objediniti sve ove kriterijume. Takvom mjerom bi se na mnogo brži i sveobuhvatniji način mogla dobiti slika o funkcionisanju sistema, ali i definisati odgovarajuće korektivne akcije.

Prva faza podrazumijeva identifikovanje i grupisanje kriterijuma. U ovoj fazi je poželjno koristiti informacije o funkcionisanju analiziranog sistema. Takođe neophodno je izvršiti grupisanje kriterijuma prema vrsti, prema podsistemu kome pripada, kao i prema nivou odlučivanja. U skladu sa tim je potrebno definisati što širi skup kriterijuma.

Grupisanje kriterijuma u željezničkom sistemu se može izvršiti na različite načine. Sa aspekta nivoa mjerenja moguće je definisati kriterijume na strateškom, taktičkom i operativnom nivou. Željeznički sistemi predstavljaju kompleksne sisteme sa brojnim, međusobno uslovljenim podsistemima, procesima i aktivnostima. Svaki podsistem, proces ili aktivnost karakterišu određeni kriterijumi.

Na osnovu literature i određenih saznanja uzeti su sljedeći kriterijumi za transport putnika i transport robe koji su prikazani u sljedećim tabelama 4.1. i 4.2.

Tabela 4.1. Kriterijumi za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika

Grupa	Kriterijumi
Kriterijumi resursa (kapaciteta)	Dužina mreže
	Raspoloživi broj voznih sredstava
	Broj zaposlenih
Operativni kriterijumi	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika
	Broj prevezenih putnika
	Putnički kilometri
	Vozni kilometri
Finansijski kriterijumi	Realizacija reda vožnje – broj otkazanih vozova
	Ukupan prihod
	Dobit po zaposlenom
	Troškovi električne energije
Kriterijumi kvaliteta usluga	Troškovi goriva
	Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture
	Raspoloživost usluge
	Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga
Kriterijumi bezbjednost	Stabilnost usluga
	Pouzdanost usluga
	Broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru
Kriterijumi bezbjednost	Broj nesreća po voznom kilometru
	Broj incidenata po voznom kilometru

Tabela 4.2. Kriterijumi za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe

Grupa	Kriterijumi
Kriterijumi resursa (kapaciteta)	Dužina mreže
	Raspoloživi broj voznih sredstava
	Broj zaposlenih
Operativni kriterijumi	Komercijalna brzina vozova za prevoz tereta
	Količina prevezene robe
	Netotonski kilometri
	Brutotonski kilometri
	Vozni kilometri
Finansijski kriterijumi	Ukupan prihod
	Dobit po zaposlenom
	Troškovi električne energije
	Troškovi goriva
Kriterijumi kvaliteta usluga	Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture
	Raspoloživost usluge
	Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga
	Stabilnost usluga
Kriterijumi bezbjednosti	Pouzdanost usluga (Prekoračenje roka isporuke)
	Broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru
	Broj nesreća po voznom kilometru
	Broj incidenata po voznom kilometru

U nastavku rada obrazložena je suština, značenje i razlozi svake grupe kriterijuma. Svi kriterijumu su sa linearnom preferencijom i ocjenjuju se prema lingvističkoj skali značaja date u tabeli.4.3.

1) Kriterijumi grupe resursa (kapaciteta). Prva grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu dužine mreže, ukupnog broja zaposlenih i raspoloživog broja voznih sredstava željezničkih operatera. Efikasnost i efektivnost koju željeznički operateri postižu obavljajući svoju djelatnost, zavisi od rezultata rada koji su postignuti korišćenjem resursa (kapaciteta). Postoji potreba da se zna stanje resursa i u kojoj mjeri su resursi korišćeni.

Kriterijum dužina mreže se odnosi na karakteristike mreže i uveliko utiče na efikasnost željezničkog operatera. Za operatere je bitno da željeznička mreže bude razgranata i dobro povezana, a osim toga bitno je da je dobro povezana i sa međunarodnim linijama. Imamo male i guste željezničke mreže i sa izrazito usklađenim redovima vožnje. Osnovna karakteristika željezničke mreže u BiH je da nije razgranata, tj. da je male gustine. Mreža se rasprostire preko

dva osnovna pravca (oblik slova T) sa malim grananjem u čvorovima Doboj i Novi grad, te stanici Prijedor. Iz toga proističe uska gravitaciona zona pruga, naročito kada je u pitanju transport putnika. Gustina mreže se značajno reflektuje kroz pristupačnost i dostupnost željezničke usluge.

Raspoloživi broj vozni sredstava su jedan od ključnih kriterijuma konkurentnosti željezničkih operatera na otvorenom transportnom tržištu. Osnovna sredstva željezničkih operatera koja imaju funkciju sredstava rada u procesu proizvodnje transportnih usluga su vozna sredstva. Vozna sredstva obuhvataju vučna sredstva, odnosno lokomotive i druga sredstva sa sopstvenim pogonom i vučena sredstva, odnosno sve vrste kola za transport putnika i transport robe. Za željezničkog operatera od posebnog je značaja postići optimalan kapacitet koji podrazumijeva takvo korišćenje vozni sredstava kojim će se postići relativno najpovoljniji odnos između trošenja njihovih upotrebnih svojstava, s jedne, i njihovog proizvodnog učinka, s druge strane. Liberalizacijom tržišta dolazi se do sve jače konkurencije između operatera kako po obimu tako i po kvalitetu transportne usluge pa je veoma važno raspolagati sa savremenim vozni sredstvima.

Broj zaposlenih jedan je od najosjetljivijih segmenata procesa restrukturiranja željezničkog sektora. Ekonomska tranzicija država Srednje i Istočne Evrope rezultirala je vrlo velikim razlikama između pojedinih sistema željezničkih preduzeća. Uzroke je zapravo lako naći u nekim procesima koji su bili specifični za pojedine države ili grupe država, na primjer: uspješnost restrukturiranja ekstraktivne i teške industrije, privatizacija i rast drumskog prevoza, raspad ekonomskih blokova (npr. Jugoslavije) te uticaj vojnih sukoba. U takvim okolnostima javlja se istovremeni višak i manjak radne snage. Sistemi željezničkih preduzeća opterećeni su znatnim viškom broja zaposlenih koji je sve više izražen zbog negativnog trenda željezničkog saobraćaja, dok se s druge strane javlja deficit radne snage koja posjeduje znanja i iskustva potrebna za zadovoljavanje novih zahtjeva tržišta.

Broj zaposlenih je važna komponenta efikasnog poslovanja željezničkih operatera, jer u današnje vrijeme osnovu postizanja konkurentskih prednosti čine niski troškovi. Fiksni i operativni troškovi poslovanja pod sve većim su pritiskom i uglavnom bilježe trendove rasta. Željeznički operateri su po svojoj prirodi radno intenzivno industrija, što znači da jedan od glavnih pokretača troškova predstavlja trošak zaposlenih. Navedena tvrdnja poprima još veću težinu, ako se uzme u obzir činjenica da gotovo sve tranzicijske države, odnosno sistemi njihovih željeznica, imaju vrlo nepovoljnu produktivnost broja zaposlenih.

2) Kriterijumi operativne grupe. Druga grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu komercijalne brzine vozova za prevoz putnika, broja prevezenih putnika, realizovanih putničkih i vozni kilometara, ali i realizacije reda vožnje – broj otkazanih vozova.

Komercijalna brzina se može posmatrati kao operativni i kao kriterijum kvaliteta usluge. Efikasnost i efektivnost željezničkih operatera indirektno zavisi od komercijalne brzine i vremena zadržavanja u željezničkim stanicama. Ako se uzme u obzir da organizacione mjere ne mogu značajno uticati na brzinu i vrijeme puta u toku obrta kola, može se zaključiti da, prema tom kriterijumu, odvijanje željezničkog saobraćaja zavisi od vremena zadržavanja, odnosno kriterijuma koji mogu biti pod uticajem organizacionih mjera. Drugim riječima, manja vremena zadržavanja, znače manji obrt kola i efikasniji transport. U uslovima daljeg razvoja željezničkog saobraćaja i uslovima sve većih zahtjeva koje privreda i stanovništvo postavljaju u pogledu brzine putovanja, odnosno transporta putnika i robe, brzina saobraćajni sredstava

igraće sve značajniju ulogu u odlučivanju korisnika transporta pri izboru saobraćajnog puta. Zato će brzina transporta svakako biti jedan od najvažnijih faktora, koji se mora imati u vidu kada se vrše uporedne analize efikasnosti željezničkih operatera.

Kriterijumi proizvodnog zadatka, transporta putnika i robe, kao osnovne djelatnosti željezničkog operatera izražavaju se kroz broj prevezenih putnika i količinu prevezene robe. Željeznički operater transportom putnika i robe ubire određene prihode preko kriterijuma koji daju mogućnost sagledavanja količine izvršenog rada. U transportu putnika to su putnički kilometri (proizvod broja prevezenih putnika i daljine prevoza), a u transportu robe to su netotonski kilometri (proizvod mase prevezene robe u tonama i daljine prevoza). Željeznički operater izvršavajući transport izvršava određeni rad u putničkim i netotonskim kilometrima, što se smatra ostvarenom transportnom uslugom za koje se naplaćuje cijena za putnički odnosno netotonski kilometar.

U kvantitativne kriterijume spadaju: broj otpremljenih i prispjelih putnika, kao i broj putnika koji tranzitiraju posmatranu prugu ili područje, ostvareni, odnosno planirani putnički kilometri, sjedišta kilometri putničkih vozova, vozni kilometri, kolski kilometri, kolskoosovinski, bruto-tonski kilometri i tara-tonski kilometri, kao i srednje gustine u putničkom saobraćaju. Za svaku stanicu utvrđuje se broj otpremljenih putnika na osnovu računa o prodatim voznim kartama, ili trebovanim službenim kartama. Broj prispjelih putnika posebno se ne evidentira, nego se obično uzima uslovno da je jednak broju otpremljenih putnika.

Putnički kilometri određuju se po formuli:

$$\sum AL = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n A_j l_j \right)_i \quad (\text{putnički kilometri}) \quad (4.24)$$

gdje je: $i=1,2,\dots,m$ - broj pravaca ili dionica saobraćaja putničkih vozova;

$j=1,2,\dots,n$ - broj različitih struktura putnika sa veličinom toka " A_j " prema dužinama relacija njihovog putovanja " l_j " na posmatranom pravcu, odnosno dionici " j ".

Neto tonski-kilometri (Q_nL). odnosno bruto tonski-kilometri ($Q_{br}L$) dobijaju se kao proizvod neto-mase voza, odnosno bruto-mase voza u tonama i dužine saobraćaja garniture voza (L) u kilometrima.

Vozni kilometri karakterišu rad lokomotiva i kola (elektro ili dizel motornih garnitura) na jednoj mreži ili po pojedninim prugama i određuju se na sljedeći način:

$$\sum NL = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n N_j l_j \right)_i \quad (\text{vozni kilometri}) \quad (4.25)$$

gdje je:

N_j - broj putničkih vozova na posmatranoj relaciji " j ", dužine " l_j " kilometara, na pruzi, dionici ili željezničkom transportnom preduzeću.

Analogno se mogu odrediti kolski kilometri putničkih vozova ako se u prethodnom obrascu umjesto $\sum_{j=1}^n N_j l_j$ uzme $\sum_{j=1}^n N_j l_j m_j$, gdje je " m_j " srednji broj kola u sastavu voza na relaciji " j ".

Broj osovinskih kilometara određuje se na isti način, samo se umjesto broja kola u sastavu voza uzima " m_j^{os} " — prosječan broj osovina jednog sastava.

Realizacija reda vožnje (broj, odnosno procenat otkazanih vozova) označava odvijanje prevoza po tačno predviđenom redu vožnje. Organizacija saobraćaja predviđena redom vožnje uslovljena je u transportu putnika da zadovolji potrebe putnika te su polasci i dolasci vozova opredijeljeni ovim ciljevima. Održavanje reda vožnje posebno je važno u međunarodnom i međugradskom saobraćaju jer se na te prevoze nadovezuju brojne priključne veze istih i drugih saobraćajnih sredstava. Održavanje reda vožnje važno je i u prigradskom, gradskom i u međunarodnom saobraćaju jer oni prevoze velike mase putnika, pa i mala zakašnjenja znače gubitke velikog broja radnih sati. Broj otkazanih vozova u velikoj mjeri utiče na efikasnost željezničkog saobraćaja i opredjeljenje putnika za izbor i vrstu transportne usluge.

3) Kriterijumi finansijske grupe. Treća grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu ukupnog prihoda, dobiti po zaposlenom, troškovima električne energije, troškovima goriva i troškovima naknada za korišćenje željezničke infrastrukture.

Prihod željezničkog operatera se ostvaruje prodajom proizvoda i usluga. Osnovna djelatnost željezničkog operatera je transport putnika i transport robe, a prihodi iz ove djelatnosti utvrđuju se kao transportni prihodi. U tom smislu, prihod predstavlja pouzdan kriterijum efikasnosti, ali i preduslov opstanka preduzeća. Ukoliko ne ostvari prihod, preduzeće ne može da opstane na tržištu. Otuda i obaveza željezničkih operatera da dobro spoznaju funkciju tražnje za njihovim uslugom, jer na taj način mogu da procjenjuju kojem nivou prihoda treba da teže odnosno da ga ostvare. Ukupan prihod preduzeća se realizuje kao proizvod transportne usluge i cijene usluge. Za transportnu uslugu, kao specifičan proizvod, odnos utrošenih proizvodnih faktora (troškova proizvodnje, usluge) i ostvarenih prihoda je utoliko značajniji, jer se istovremeno sa proizvodnjom ostvaruje i njena konačna potrošnja, realizuju efekti ulaganja u proces transporta i ostvaruju proizvodni ciljevi (finansijski rezultat poslovanja željezničkog operatera).

Transportni troškovi se definišu kao vrijednost činilaca utrošenih u procesu proizvodnje transportnih usluga, odnosno u procesu transporta putnika i transporta robe. U tom smislu, prema ekonomskoj suštini procesa proizvodnje transportnih usluga, osnovna struktura transportnih troškova obuhvata troškove predmeta rada koji su vrlo heterogena grupa ulaganja u proces transporta, a čine ih troškovi električne energije i troškove goriva. Visina ovih troškova za određeni obim proizvodnje i tehnološki proces rada, uslovljena je objektivno normiranim utrošcima prema količini, strukturi i vrijednosti u određenom realnom vremenu i u velikoj mjeri utiče na ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera.

Troškovima naknada za korišćenje željezničke infrastrukture se direktno utiče na stanje na transportnom tržištu. Novo uvedene naknade utiču na mjesto i ulogu domaćeg/domaćih operatera na tržištu. U zavisnosti od stanja u kome se nalazi domaći operater (stanje tehničkih sredstava, tehnologije, organizacije, komercijalnog sektora i dr.) zavisice i njegov opstanak. Kada je domaći operater/operatori u stanju da pruži odgovarajući nivo kvaliteta transportne usluge, visokim naknadama se destimuliše konkurencija na željezničkom tržištu. Ukoliko su naknade visoke neće postojati interes privatnog sektora za uvođenje novih operatera. Takođe

ni strani operateri neće dolaziti u države i na željeznice gdje su ove naknade visoke. Sa druge strane, niske naknade povećavaju broj operatera i na slobodnom tržištu pobjeđuju bolje opremljeni, sposobniji i konkurentniji prevoznici. Ovo posebno važi za zemlje u tranziciji i zemlje u kojima su tek uvedene naknade. U zemljama i na željezničkim tržištima koja su nerazvijena i gdje domaći operater/operateri ne može da pruži odgovarajući nivo kvaliteta usluge, situacija je upravo obrnuta. Tamo, visoke naknade može da podnese samo bolji a to je obično strani operater, tako da se «guši» domaći. Niskim naknadama se stimulise konkurencija pa će opet u ravnopravnim uslovima teško biti «odbraniti» domaćeg operatera. Iz ovoga se može izvući veoma važan zaključak, a to je da naknade direktno utiču na ocjenu efikasnosti operatera.

4) Kriterijum grupe kvaliteta usluge. Četvrta grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu raspoloživosti usluge, pogodnosti-sposobnosti ponuđenih usluga, stabilnosti usluga i pouzdanosti usluga. Kvalitet usluge je ono što predstavlja ogledalo željezničkih operatera, ono što kupac vidi kao njihovu sliku. Kupac ne vidi poslovne prostore, opremu, tehnologiju, sistem upravljanja ili organizacionu strukturu. Sve što vidi jeste kvalitet usluge transporta. Kvalitet usluge željezničkih operatera predstavljaju ključne kompetencije, odnosno održive konkurentske prednosti u odnosu na druge operatere i značajno utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga jeste kriterijum čiji je cilj da se željeznički operater prilagodi zahtjevima korisnika usluge u pogledu potrebnih kapaciteta, pokretljivosti i elastičnosti kako bi zadovoljili traženu uslugu.

Pouzdanost je srž kvaliteta usluge željezničkog operatera imajući u vidu da se pouzdanost javlja kao najznačajnija kvalitativna karakteristika sa aspekta korisnika. Istraživanja koja su sproveli Johnson i Nilsson 2003. godine pokazuju da je značajno veći efekat pouzdanosti kao mjere kvaliteta, na zadovoljstvo korisnika usluga nego korisnika proizvoda. Ovo proizilazi, prvenstveno, iz specifičnosti transportne usluge: involiranost korisnika u procesu proizvodnje, te sinhronizovanosti procesa proizvodnje i potrošnje, što ujedno, otežava mjerenje i održavanje zadanog ranga pouzdanosti usluge. S toga je nivo pouzdanosti željezničke usluge veoma važan za željezničkog operatera.

5) Kriterijum grupe bezbjednosti. Četvrta grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu broja ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata po voznom kilometru.

Bezbjednost je bitan činilac u opredijeljenju korisnika transporta za pojedine saobraćajne grane, a time i značajan faktor veličine transporta i prihoda. Pored uticaja na veličinu transporta i prihoda, bezbjednost saobraćaja utiče na efikasnost operatera, tim što se željezničkim nesrećama, oštećuju i uništavaju sredstva rada velike vrijednosti, prouzrokuju velike materijalne štete i prekidi saobraćaja koji takođe predstavljaju trošak željezničkom operateru.

Ozbiljna nesreća označava svaki sudar ili iskakanje vozova iz šina koje rezultira smrću najmanje jedne osobe ili ozbiljnim povredama pet ili više osoba ili veliko oštećenje voznih sredstava (označava oštećenje koje odmah može biti procijenjeno od strane željezničkog istražnog organa na ukupnu vrijednost od najmanje 2 miliona eura), infrastrukture ili čovjekove okoline, kao i svaku drugu sličnu nesreću sa očiglednim uticajem na regulisanje bezbjednosti na željeznici ili upravljanje bezbjednosti.

Nesreća označava neželjeni ili nenamjerni iznenadni događaj ili poseban lanac takvih događaja koji imaju teške posljedice; nesreće se dijele u sljedeće kategorije: sudari, iskakanje iz šina, nesreće na pružnim prelazima, nesreće prema osobama prouzrokovane od strane voznih sredstava u pokretu, požari i ostalo.

Incident označava svaki događaj, koji nije nesreća ili ozbiljna nesreća, a koji je povezan sa saobraćajem vozova i utiče na bezbjednost funkcionisanja.

U cilju održavanja bezbjednosti na visokom nivou Evropska unija je u svojim dokumentima propisala granicu zajedničkih bezbjednosnih ciljeva, a koja za zemlje EU iznosi 2590 FWSIs (fatalities and weighted serious injuries) po milijardama voznih kilometara.

Suština FAHP metode je poređenje svakog kriterijuma sa svakim. Prema prethodno definisanom opisu metode FAHP potrebno je da se definišu parametri problema i odrede tipovi generalizovanih kriterijuma sa potrebnim izmjeriteljima za svaki kriterijum.

U ocjenjivanju relativne važnosti pojedinih kriterijuma za svaku grupu učestvovali su menadžeri iz željezničkog sektora u BiH i ministarstava u BiH nadležnih za željeznicu. Oni su popunili anketu koja je data u Prilogu B u kojoj su ocijenili važnost svakog od kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije za svaku grupu.

U okviru Tabele 4.3. lingvističke varijable se konvertuju u trouglaste fazi brojeve (Kilince i Onal, 2011.).

Tabela 4.3. Lingvistička skala značaja

Lingvistička skala značaja	Trouglasti fazi brojevi	Recipročna vrijednost trouglastih fazi brojeva
Jednako	(1,1,1)	(1,1,1)
Umjereno	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Snažno	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
Veoma snažno	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
Izrazito	(7/2,4,9/2)	(2/9,1/4,2/7)

Rješavanju problema izbora kriterijuma najvišeg značaja za potrebe razvoja modela ocjene efikasnosti i efektivnosti i modela ocjene obima rada željezničkih operatera između naprijed pomenutih grupa, pristupilo se primjenom opisanog FAHP pristupa.

Radi ilustrovanog primjera izbora kriterijuma najvišeg značaja u ovoj disertaciji prikazan je primjer izbora kriterijuma za grupu resursa.

U tabeli 4.4. predstavljena je fazi matrica poređenja kriterijuma iz grupe kriterijuma resursa (dužina mreže – A1, Raspoloživa vozna sredstva-A2 i broj zaposlenih – A3).

Tabela 4.4. Komparaciona matrica za grupu kriterijuma resursa za transport putnika

		A1	A2	A3
A1	E1	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E2	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)
	E3	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E4	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/3,1,2)
	E5	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
A2	E1	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E2	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
	E3	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E4	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
	E5	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
A3	E1	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E2	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)
	E3	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E4	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
	E5	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)

Fuzzy težina kriterijuma se izračunava uzimanjem geometrijske sredine odgovora stručnjaka (Lee, 2009.), ovo je prikazano u tabeli 4.5. Primjer obračuna geometrijske sredine za A_{12} je:

$$n^- = (2/5 \times 2/7 \times 2/5 \times 2/7 \times 2/5)^{1/5} = 0,350$$

$$n = (1/2 \times 1/3 \times 1/2 \times 1/3 \times 1/2)^{1/5} = 0,425$$

$$n^+ = (2/3 \times 2/5 \times 2/3 \times 2/5 \times 2/3)^{1/5} = 0,543$$

Tabela 4.5. Fazi komparaciona matrica za kriterijume grupe resursa

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.350, 0.425, 0.543)	(0.602, 0.870, 1.605)
A ₂	(1.840, 2.352, 2.860)	(1,1,1)	(0.891, 1.319, 1.697)
A ₃	(0.623, 1.149, 1.661)	(0.589, 0.758, 1.122)	(1,1,1)

Da bi se utvrdila Fuzzy kombinacija ekspanzije za svaki od kriterijuma, prvo se izračunava $\sum_{j=1}^n M_{gi}^j$ vrijednosti za svaki red matrice.

$$A_1 = (1+0.350+0.602; 1+0.425+0.870; 1+0.543+1.605) = (1.952; 2.295; 3.148),$$

$$A_2 = (1.840+1+0.891; 2.352+1+1.319; 2.860+1+1.697) = (3.731; 4.671; 5.557),$$

$$A_3 = (0.623+0.589+1; 1.149+0.758+1; 1.661+1.122+1) = (2.212; 2.907; 3.783),$$

$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j$ vrijednost se računa kao:

$$(1.952; 2.295; 3.148) + (3.731; 4.671; 5.557) + (2.212; 2.907; 3.783) = (7.895; 9.873; 12.488)$$

$$\text{Onda, } S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \right]^{-1}:$$

$$S_1 = (1.952; 2.295; 3.148) \times (1/12.488; 1/9.873; 1/7.895) = (0.156; 0.232; 0.399)$$

$$S_2 = (3.731; 4.671; 5.557) \times (1/12.488; 1/9.873; 1/7.895) = (0.374; 0.473; 0.704)$$

$$S_3 = (2.212; 2.907; 3.783) \times (1/12.488; 1/9.873; 1/7.895) = (0.177; 0.294; 0.479)$$

Vrijednosti V (redosljed preferencija) se računaju pomoću vektora:

$$V(S_1 \geq S_2) = \frac{0.374 - 0.399}{-0.167 - 0.099} = 0.094; \quad V(S_1 \geq S_3) = \frac{0.177 - 0.399}{-0.167 - 0.117} = 0.782$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1; \quad V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1; \quad V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.374 - 0.479}{-0.185 - 0.099} = 0.370$$

Prioriteti težine se izračunavaju pomoću:

$$d' = (A_1) \min(0.094; 0.782) = 0.094$$

$$d' = (A_2) \min(1; 1) = 1$$

$$d' = (A_3) \min(1; 0.370) = 0.370$$

Relativne fazi težine svakog kriterijuma prikazane su u tabeli 4.6.

Tabela 4.6. Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za grupu resursa

Kriterijumi	W'	W
Dužina mreže – A1	0.094	0.064
Raspoloživa vozna sredstva-A2	1	0.683
Broj zaposlenih – A3	0.370	0.253

Izvršena komparativna analiza primjenom metode FAHP, pokazala je da poređenjem tri kriterijuma iz grupe resursa koji utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera najveću težinu za eksperte ima kriterijum raspoloživa vozna sredstva sa relativnom težinom 0.683.

Takođe, analogno po istom principu izvršeno je poređenje kriterijuma po parovima za svaku grupu. Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja kriterijuma po parovima za sve grupe u transportu putnika dat je u tabeli 4.7., dok je proračun dat u Prilogu C ove disertacije.

Tabela 4.7. Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja po parovima za sve grupe u transportu putnika

Grupa	Kriterijumi	W'	W
Kriterijumi resursa (kapaciteta)	Dužina mreže	0.094	0.064
	Raspoloživi broj voznih sredstava	1	0.683
	Broj zaposlenih	0.370	0.253
Operativni kriterijumi	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	0.739	0.168
	Broj prevezenih putnika	1	0.228
	Putnički kilometri	0.881	0.201
	Vozni kilometri	0.925	0.211
	Realizacija reda vožnje – broj otkazanih vozova	0.843	0.192
Finansijski kriterijumi	Ukupan prihod	0.973	0.215
	Dobit po zaposlenom	0.968	0.214
	Troškovi električne energije	0.880	0.195
	Troškovi goriva	0.702	0.155
	Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture	1	0.221
Kriterijumi kvaliteta usluga	Raspoloživost usluge	0.595	0.219
	Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga	1	0.367
	Stabilnost usluga	0.641	0.235
	Pouzdanost usluga	0.487	0.179
Kriterijumi bezbjednosti	Broj ozbiljnih nesreća po voznom km	1	0.571
	Broj nesreća po voznom km	0.567	0.324
	Broj incidenata po voznom km	0.183	0.105

Iz tabele se može zaključiti da za grupu kriterijuma resursa najveću relativnu težinu ima raspoloživi broj voznih sredstava (0.683), za grupu operativnih kriterijuma broj prevezenih putnika (0.228), za grupu finansijskih kriterijuma troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture (0.221), za grupu kvaliteta usluga pogodnost – sposobnost ponuđenih usluga (0.367) i za grupu kriterijuma bezbjednosti najveću relativnu težinu ima kriterijum broj ozbiljnih nesreća (0.571) na osnovu ankete eksperata željezničkog sektora.

Analogno prethodnom proračunu, izračunat je relativni rang pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja kriterijuma po parovima za sve grupe u transportu robe koji je dat u tabeli 4.8.

Tabela 4.8. Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja po parovima za sve grupe u transportu robe

Grupa	Kriterijumi	W'	W
Kriterijumi resursa (kapaciteta)	Dužina mreže	0.101	0.065
	Raspoloživi broj voznih sredstava	1	0.654
	Broj zaposlenih	0.430	0.281
Operativni kriterijumi	Komercijalna brzina vozova za prevoz tereta	0.683	0.162
	Količina prevezene robe	1	0.237
	Netotonski kilometri	0.794	0.189
	Brutotonski kilometri	0.843	0.200
	Vozni kilometri	0.895	0.212
Finansijski kriterijumi	Ukupni prihod	0.924	0.213
	Dobit po zaposlenom	0.932	0.215
	Troškovi električne energije	0.812	0.187
	Troškovi goriva	0.675	0.155
	Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture	1	0.230
Kriterijumi kvaliteta usluga	Raspoloživost usluge	0.738	0.256
	Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga	0.512	0.177
	Stabilnost usluga	0.638	0.221
	Pouzdanost usluga (Prekoračenje roka isporuke)	1	0.346
Kriterijumi bezbjednosti	Broj ozbiljnih nesreća po voznom km	1	0.558
	Broj nesreća po voznom km	0.473	0.264
	Broj incidenata po voznom km	0.318	0.178

Iz tabele se može zaključiti da za grupu kriterijuma resursa najveću relativnu težinu ima raspoloživi broj voznih sredstava (0.654), za grupu operativnih kriterijuma količina prevezene robe (0.237), za grupu finansijskih kriterijuma troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture (0.230), za grupu kvaliteta usluga, pouzdanost usluga - prekoračenje roka isporuke (0.346) i za grupu kriterijuma bezbjednosti najveću relativnu težinu ima kriterijum broj ozbiljnih nesreća (0.558) na osnovu ankete eksperata željezničkog sektora..

Izabrani kriterijumi će se koristiti za razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

5. RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

Nezavisno od vrste sistema pojavljuje se potreba za praćenjem i kvantifikovanjem efekata poslovanja. Jedan od osnovnih pokazatelja je definisanje odnosa uloženi resursa i ostvarenih ciljeva. U literaturi je pomenuti odnos poznatiji kao efikasnost. Efikasnost je riječ latinskog porijekla (lat. *efficax*) koja znači uspješnost. Efikasnost je višestruko definisana, tako da ne postoji univerzalna i opšteprihvaćena definicija efikasnosti. Zajedničko za većinu pristupa u literaturi je činjenica da se pojam efikasnost vezuje za što bolju iskorišćenost resursa uz istovremeno pružanje što većeg obima usluga.

Efektivnost je princip ili zahtjev koji polazi od unapred definisanih i utvrđenih ciljeva preduzeća i raspoloživosti neophodnih komponenata faktora, odnosno resursa za njihovo ostvarivanje. Cilj efektivnosti je da se korišćenjem raspoloživih resursa, odnosno komponenata ostvare maksimalno mogući rezultati u skladu sa postavljenim planskim ciljevima. Efektivnost je orijentisana na izbor potreba koje će preduzeće zadovoljiti u procesu poslovanja i obavljanja svoje djelatnosti. Najkraće rečeno, „efektivnost preduzeća označava stepen uspješnosti u ostvarivanju njegovih ciljeva“.

Mjerenje efikasnosti u literaturi bazirano je na različitim metodama. Modeli razvijani u ovoj disertaciji bazirani su na različitim pristupima koji su detaljnije opisani u nastavku.

5.1. RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA DEA METODOM

Problem mjerenja efikasnosti željezničkih preduzeća u literaturi je apostrofirano kao problem mjerenja efikasnosti višefaznih (višeetapnih) procesa. Najčešće korišćena metoda za ocjenu efikasnosti višefaznih procesa je Analiza obavijanja podataka ili DEA (Data Envelopment Analysis) metoda.

U literaturi postoji čitav spektar modela za ocjenu efikasnosti baziranih na DEA modelima. DEA metoda omogućuje poređenje efikasnosti uporedivih jedinica u ovom slučaju grupe operatera sa većim brojem ulaznih i izlaznih promjenljivih.

U ovom poglavlju predstavljena je teorijska osnova DEA metode za mjerenja efikasnosti, i prikazani su DEA modeli koji su u disertaciji bili korišćeni za realizaciju istraživačkih ciljeva, odnosno razvoj modela.

5.1.1. TEORIJSKA OSNOVA DEA METODE

Efikasnost i efektivnost koju organizacija postiže obavljajući svoju djelatnost, zavisi od rezultata rada (izlazi) koji su postignuti korišćenjem resursa (ulazi) i odgovarajuće tehnologije. U tom kontekstu, efikasnost i efektivnost željezničkih operatera se odnosi na poređenje između posmatranih optimalnih vrijednosti njenih izlaza i ulaza. Tako, mogu se porediti posmatrani izlazi sa maksimalno mogućim izlazima koji mogu da se dobiju od ulaza, ili mogu se porediti posmatrani ulazi sa minimalno potrebnim ulazima koji su neophodni za stvaranje izlaza, ili kombinacija ova dva poređenja.

Efikasnost ima tehničku i alokativnu komponentu. Tehnička komponenta efikasnosti se odnosi na sposobnost da se izbjegnu gubici koji mogu da nastanu u pravljenju izlaza, korišćenjem tehnologije ulaza. Tako, analiza tehničke efikasnosti može imati orijentaciju na uvećanje izlaza (izlazno orijentisana) ili orijentaciju na uštedu ulaza (ulazno orijentisana). Alokativna komponenta efikasnosti (engl. Allocative Efficiency) se odnosi na sposobnost da se kombinuju ulazi i/ili izlazi u optimalnoj srazmeri (Ralević, 2014).

Formalnu definiciju tehničke efikasnosti dao je Kopmans (Koopmans, 1951.), prema kojoj je organizacija (koja proizvodi ili pruža usluge) tehnički efikasna ako povećanje nekog izlaza zahtijeva smanjenje najmanje jednog od ostalih izlaza ili povećanje najmanje jednog od ulaza, i ako smanjenje nekog ulaza zahtijeva povećanje najmanje jednog od drugih ulaza ili smanjenje najmanje jednog od izlaza. To znači da tehnički neefikasna organizacija, može da napravi iste izlaze sa ulazima od kojih najmanje jedan od ulaza može da bude manji, ili može korišćenjem istih ulaza da napravi izlaze od kojih najmanje jedan od izlaza može da bude veći.

Debreu (1951), i Farrell (1957) predstavili su mjerenje tehničke efikasnosti sa ulaznom i izlaznom orijentacijom. Sa jedne strane, mjerenje efikasnosti sa ulaznom orijentacijom je definisano kao maksimalno radijalno smanjenje ulaza koje je izvodljivo sa datom tehnologijom i izlazima. Sa druge strane, mjerenje efikasnosti sa izlaznom orijentacijom je definisano kao maksimalna radijalna ekspanzija svih izlaza koja je izvodljiva sa datom tehnologijom i ulazima.

Neka organizacija koristi ulaze $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) \in (R^+)^m$, za pravljenje izlaza $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_s) \in (R^+)^s$, pri čemu je R^+ skup pozitivnih realnih brojeva.

Organizaciona (proizvodna) tehnologija transformiše ulaze (resurse) u izlaze (rezultate rada), praveći kombinacije ulaza i izlaza koje su tehnološki izvodljive. Tako, tehnologija može biti predstavljena organizacionim (proizvodnim) skupom, kao što je to prikazano u (5.1).

$$T = \{(y, x): x \text{ može da napravi (proizvede)}y\} \quad (5.1)$$

Prema Kopmansovoj definiciji, organizacija za koju postoji $(y, x) \in T$ je tehnički efikasna ako, i samo ako, $(y', x') \notin T$ za $(y', x' - \Delta x) \geq (y, x - \Delta x)$, $\Delta x_i \geq 0$, $i=1,2,3, \dots, m$.

Relacija poretka \geq i \leq nad skupovima oblika $(R^+)^n$ koriste se u ovoj disertaciji u skladu sa definicijom datom u radu (Koopmans, 1951.).

A) Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti ulazne orijentacije

U ovom dijelu rada, biće prikazan razvoj Debreu-Farelovog mjerenja efikasnosti ulazne orijentacije. Organizaciona tehnologija predstavljena u (5.1), može biti prikazana i organizacionim skupovima okarakterisanih sa ulazima (5.2), koji za svaki $y \in (R^+)^s$ imaju ulazne izokvante $I(y) = \{x : x \in L(y), \lambda x \notin L(y), \lambda < 1\}$, ulazne efikasne podskupove $E(y) = \{x : x \in L(y), x' \notin L(y), x' \leq x\}$ kao i tri skupa koji zadovoljavaju $E(y) \subseteq I(y) \subseteq L(y)$.

$$L(y) = \{x : (y, x) \in T\} \quad (5.2)$$

U relaciji (5.3), predstavljena je ulazna funkcija odstojanja (engl. Input Distance Function) koja je uvedena u radu (Shephard, 1953.). Ona obezbjeđuje funkcionalno predstavljanje proizvodne tehnologije.

Ako $x \in L(y)$, tada je $D_I(y, x) \geq 1$, ako $x \in I(y)$, tada je $D_I(y, x) = 1$.

$$D_I(y, x) = \max\{\lambda : (x/\lambda) \in L(y)\} \quad (5.3)$$

U relaciji (5.4), Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti ulazne orijentacije, predstavljeno je kao vrijednost funkcije. $TE_I(y, x) = \min\{\theta : \theta x \in L(y)\}$ (5.4)

$$TE_I(y, x) = \min\{\theta : \theta x \in L(y)\} \quad (5.4)$$

Na osnovu (5.3), dobija se jednakost (5.5). Ako $x \in L(y)$, tada je $TE_I(y, x) \leq 1$, ako $x \in I(y)$, tada je $TE_I(y, x) = 1$

$$TE_I(y, x) = \frac{1}{D_I(y, x)}, \quad (5.5)$$

B) Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti izlazne orijentacije

U mnogim slučajevima postoji potreba da se mjeri efikasnost izlazno orijentisana. Za tu svrhu, organizaciona tehnologija je prikazana u (5.6). Ovdje, tehnologija je predstavljena skupovima koji su okarakterisani sa izlazima i koji za svaki $x \in (R^+)^m$ imaju izlazne izokvante $I(x) = \{y : y \in P(x), \lambda y \notin P(x), \lambda > 1\}$, ulazne efikasne podskupove $E(x) = \{y : y \in P(x), y' \notin P(x), y' \geq y\}$, kao i tri skupa koji zadovoljavaju $E(x) \subseteq I(x) \subseteq P(x)$.

$$P(x) = \{y : (y, x) \in T\} \quad (5.6)$$

U ovom slučaju, funkcionalno predstavljanje proizvodne tehnologije može da se obezbijedi izlaznom funkcijom odstojanja (engl. Output Distance Function), kao što je to prikazano u relaciji (5.7). Ova funkcija odstojanja data je u radu (Shephard, 1970.). Ako $y \in P(x)$, tada je $D_O(x, y) \leq 1$, ako $y \in I(x)$, tada je $D_O(x, y) = 1$.

$$DO(x, y) = \min\{\lambda: (y/\lambda) \in P(x)\} \quad (5.7)$$

Debreu-Farelovo mjerenje efikasnosti izlazne orijentacije, predstavljeno je u (5.8).

$$TE_o(x, y) = \max\{\phi: \phi y \in P(x)\} \quad (5.8)$$

Na osnovu (5.7), može da se izvede relacija (5.9). Ako $y \in P(x)$, tada je $TE_o(x, y) \geq 1$, ako $x \in I(y)$, tada je $TE_o(x, y) = 1$

$$TE_o(x, y) = \frac{1}{D_o(x, y)} \quad (5.9)$$

C) Specijalni slučajevi mjerenja tehničke efikasnosti

U prethodnoj analizi, pretpostavke su da postoji više ulaza ($m > 1$), kao i više izlaza ($s > 1$). Ulazna funkcija odstojanja, za slučaj kada postoji jedan ulaz ($m = 1$) i više izlaza ($s > 1$), predstavljena je u (5.10).

$$D_I(y, x) = \frac{x}{g(y)} \geq 1 \Leftrightarrow x \geq g(y) \quad (5.10)$$

U relaciji (5.10), $g(y)$ je minimalna vrijednost potrebnog ulaza za stvaranje izlaza y , tj.

$$g(y) = \min\{x : x \in L(y)\}.$$

Debreu-Farelovo mjerenje efikasnosti postaje odnos minimalnog ulaza i stvarnog ulaza (5.11).

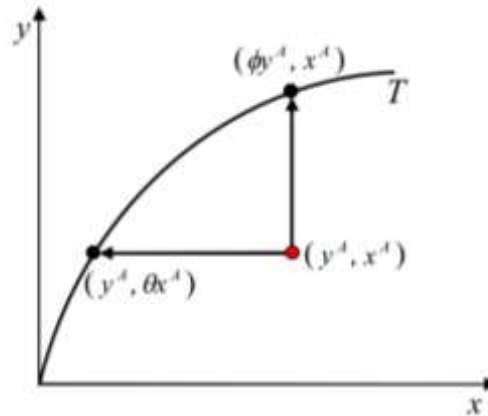
$$TE_I(y, x) = \frac{1}{D_I(y, x)} = \frac{g(y)}{x} \leq 1 \quad (5.11)$$

Za slučaj kada postoji jedan izlaz ($s = 1$), a više ulaza ($m > 1$), izlazna funkcija odstojanja je predstavljena u (5.12).

$$D_o(x, y) = \frac{y}{f(x)} \leq 1 \Leftrightarrow y \leq f(x) \quad (5.12)$$

U relaciji (5.12), $f(x)$ je maksimalna vrijednost izlaza koja može da se napravi sa ulazima x ili $f(x) = \max\{y : y \in P(x)\}$. Tako, Debreu-Farelovo mjerenje efikasnosti, sada postaje odnos maksimalnog izlaza i stvarnog izlaza (5.13).

$$TE_o(x, y) = \frac{1}{D_o(x, y)} = \frac{f(x)}{y} \geq 1 \quad (5.13)$$



Slika 5.1. Prikaz tehničke efikasnosti

Na slici 5.1., predstavljena je efikasnost (slučaj kada ulazni vektor ima jedan ulaz, a izlazni vektor ima jedan izlaz) koja može da se postigne korišćenjem tehnologije T , kao i njena granična vrijednost, tj. granica efikasnosti označena kontinualnom linijom. Organizacija A , data na slici 5.1., nalazi se unutar tehnologije T ostvarujući proizvodni plan (y^A, x^A) .

Detaljnije, A koristi tehnologiju T , i sa ulaznim vektorom x^A ostvaruje izlazni vektor y^A . Efikasnost koju A postiže, može biti izmjerena horizontalno sa orijentacijom na uštedu ulaza (5.5) ili vertikalno sa orijentacijom na uvećanju izlaza (5.9). Za prvi slučaj je $TE_I(y^A, x^A) = \frac{\theta x^A}{x^A} \leq 1$, dok je za drugi slučaj $TE_O(x^A, y^A) = \frac{\phi y^A}{y^A} \leq 1$. Prema tome, posmatrana organizacija A sa svojim tekućim ulazima i izlazima, iako koristi T , ne postiže rezultate koji mogu da se postignu sa datom tehnologijom (Ralević i sar., 2014).

Organizacija A može da poveća svoju efikasnost do granice efikasnosti, ako svoje tekuće ulaze smanji na nivo ulaza θx^A ili ako svoje tekuće izlaze uveća na nivo izlaza ϕy^A . Dodatno, A može da poveća svoju efikasnost do granice efikasnosti, ako simultano smanjuje tekuće izlaze i uvećava tekuće ulaze dok ne stigne do efikasne tačke na liniji T između $(y^A, \theta x^A)$ i $(\phi y^A, x^A)$.

U Prilogu D doktorske disertacije, predstavljena su Debreu-Farelova mjerenja tehničke efikasnosti obje orijentacije. U prvom slučaju, za mjerenje efikasnosti ulazne orijentacije bila je posmatrana ulazna izokvanta $I(y)$, sa odgovarajućim ulaznim skupom $L(y)$ čiji elementi su oblika $x = (x_1, x_2)$, jednim izlazom (y) i datom tehnologijom T , tj. $L(y) = \{x : (y, x) \in T \wedge x \in (R^+)^2\}$. U drugom primjeru, za mjerenje tehničke efikasnosti izlazne orijentacije bila je posmatrana izlazna izokvanta $I(x)$, sa odgovarajućim izlaznim skupom $P(x)$ čiji elementi su oblika $y = (y_1, y_2)$, jednim ulazom (x) i datom tehnologijom T , tj. $P(x) = \{y : (y, x) \in T \wedge y \in (R^+)^2\}$.

Značajna osobina Debreu-Farelovih mjerenja tehničke efikasnosti je da se ne podudaraju u potpunosti sa Kopmansovom definicijom tehničke efikasnosti. Kopmansova definicija zahtjeva da jedinica odlučivanja (DMU) pripada u oba efikasna podskupa, kao što je to determinisano u (5.2) i (5.6), dok Debreu-Farelova mjerenja zahtevaju da DMU pripada jedino izokvantama. Shodno tome, može se zaključiti da je Debreu-Farelova tehnička efikasnost potreban, ali ne i dovoljan uslov Kopmansove tehničke efikasnosti.

Dakle, mogu da se pojave slučajevi koji zadovoljavaju Debreu-Farelove uslove, ali ne i Kopmansove zahtjeve jer i pored izvršene optimalne radijalne projekcije ostaju nepotpuno iskorišćeni ulazi ili nepotuno ostvareni izlazi. To znači da se definicija efikasnosti razlikuje od mjerenja efikasnosti u mogućem postojanju neiskorišćenih ulaza, tj. u ulazima mogu da postoje slakovi (engl. Input Slacks) ili nedovoljno ostvarenih izlaza, tj. u izlazima mogu da postoje slakovi (engl. Output Slacks), i pored izvršene optimalne radijalne projekcije.

Generalno, postojanje slakova u ulazima pokazuje da ulazi nisu potpuno iskorišćeni, dok postojanje slakova u izlazima ukazuje da izlazi nisu potpuno ostvareni.

D) Mjerenje troškovne efikasnosti ili ukupne efikasnosti

Kada se mjeri ekonomska efikasnost (engl. Economic Efficiency), ne postoji razlika između definisane i izmjerene efikasnosti. Definisanje i mjerenje ove efikasnosti zahtijeva specifikaciju ekonomskog cilja i informaciju o relevantnim cijenama. U literaturi, ekonomska efikasnost može da bude pronađena pod nazivom ukupna efikasnost (engl. Overall Efficiency). Ovu efikasnost moguće je izmjeriti kao troškovnu efikasnost (engl. Cost Efficiency), prihodnu efikasnost (engl. Revenue Efficiency) ili profitnu efikasnost (engl. Profit Efficiency).

Mjerenje troškovne efikasnosti je određeno odnosom minimalno potrebnih troškova i stvarnih troškova. Tako, ovo mjerenje zavisi od ulaznih cijena. Organizaciona jedinica postiže najbolji učinak ako je troškovno efikasna, dok su performanse manje ako jedinica pokazuje troškovnu neefikasnost.

U relaciji (5.14), predstavljena je minimalna funkcija troškova ili troškovna granica, pod pretpostavkom da su organizacione jedinice suočene sa ulaznim cijenama (Ralević i sar., 2014) $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_m) \in (R^+)^m$, pri čemu je cilj minimiziranje troškova.

Ulazna funkcija odstojanja je prikazana u (5.15). Jednakošću (5.16), predstavljeno je mjerenje troškovne efikasnosti kao odnos minimalno potrebnih troškova i stvarnih troškova, pri čemu je w^{tr} transponovana vektor-vrsta w .

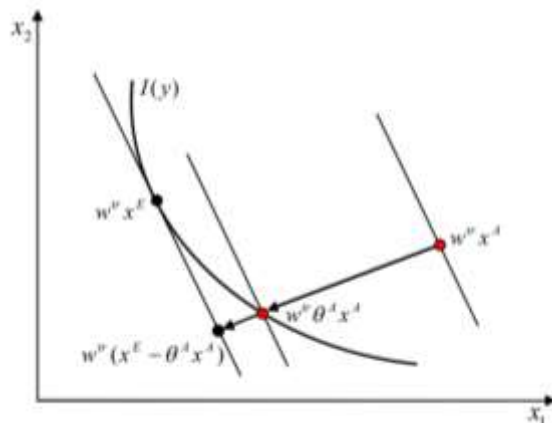
$$c(y, w) = \min_x \{w^{tr} x : D_I(y, x) \geq 1\} x \quad (5.14)$$

$$D_I(y, x) = \min_w \{w^{tr} x : c(y, w) \geq 1\} \quad (5.15)$$

$$CE(x, y, w) = \frac{c(y, w)}{w^{tr} x} \quad (5.16)$$

Mjerenje alokativne efikasnosti ulazne orijentacije (5.17), određuje se na osnovu (5.4) i (5.16).

$$AE_I(x, y, w) = \frac{CE(y, x, w)}{TE_I(y, x)} \quad (5.17)$$



Slika 5.2. Prikaz dekompozicije troškovne efikasnosti

Na slici 5.2, predstavljena je dekompozicija troškovne efikasnosti na tehničku i alokativnu komponentu za slučaj kada je ulazni vektor oblika $x = (x_1, x_2)$. Neka je ulazni vektor x^E takav da minimizira troškove koji su potrebni da se napravi izlazni vektor y za date cijene w , zbog toga je $w^{tr} x^E = c(y, w)$. Troškovna efikasnost za neki ulazni vektor x^A je data kao odnos $\frac{w^{tr} x^E}{w^{tr} x^A} = \frac{c(y, w)}{w^{tr} x^A}$.

Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti za vektor x^A je $\theta^A = \frac{\theta^A x^A}{x^A} = \frac{w^{tr} (\theta^A x^A)}{w^{tr} x^A}$. Alokativna efikasnost vektora x^A je određena rezidualno kao odnos troškovne efikasnosti i tehničke efikasnosti, tj. $\frac{w^{tr} x^E}{w^{tr} (\theta^A x^A)}$. Pravac alokativne neefikasnosti pokazan je ulaznim vektorom razlike $w^{tr} (x^E - \theta^A x^A)$.

E) Mjerenje prihodne efikasnosti

Mjerenje prihodne efikasnosti može da se izvede ako se troškovna efikasnost dekomponuje na izlazno orijentisani problem, pri čemu ovo mjerenje zavisi od izlaznih cijena. Na primjer, ako je cilj organizacione jedinice maksimizacija prihoda, tada je prihodna efikasnost određena odnosom maksimalno mogućih prihoda i stvarnih prihoda.

Neka se pretpostavi da su organizacione jedinice suočene sa izlaznim cijenama $p = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_s) \in (R^+)^s$, pri čemu je cilj maksimiziranje prihoda, tada relacija (5.18) predstavlja maksimalnu funkciju prihoda ili prihodnu granicu.

Izlazna funkcija odstojanja je data u (5.19). Jednakost (5.20) predstavlja mjerenje prihodne efikasnosti određeno odnosom maksimalno mogućih prihoda i stvarnih prihoda, pri čemu je p^{tr} transponovana vektor-vrsta p .

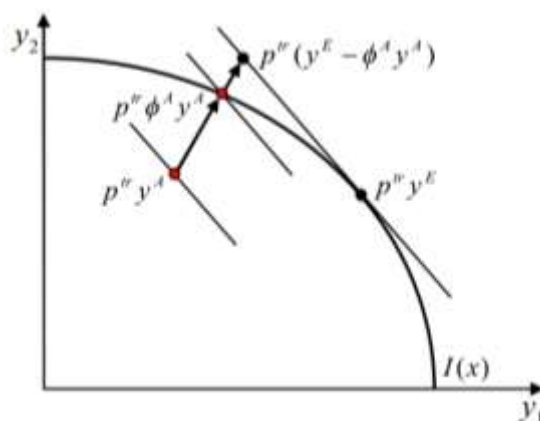
$$r(x, p) = \max_y \{p^{tr} y : D_o(x, y) \leq 1\} \quad (5.18)$$

$$D_o(x, y) = \max_p \{p^{tr} y : r(x, p) \leq 1\} \quad (5.19)$$

$$RE(y, x, p) = \frac{r(x, p)}{p^{tr} y} \quad (5.20)$$

Na osnovu (5.8 i (5.20), dobija se mjerenje alokativne efikasnosti izlazne orijentacije, kao što je to prikazano u jednakosti (5.21).

$$AE_O(y, x, p) = \frac{RE(y, x, p)}{TE_O(x, y)} \quad (5.21)$$



Slika 5.3. Prikaz dekompozicije prihodne efikasnosti

Dekompozicija prihodne efikasnosti za slučaj kada je izlazni vektor oblika $y = (y_1, y_2)$, predstavljena je na slici 5.3. Neka je izlazni vektor y^E onaj koji maksimizira prihode od ulaznog vektora x za date izlazne cijene p , pa je $p^{tr} y^E = r(x, p)$. Prihodna efikasnost za neki izlazni vektor y^A je data kao odnos $\frac{p^{tr} y^E}{p^{tr} y^A} = \frac{r(x, p)}{p^{tr} y^A}$. Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti za vektor y^A je $\phi^A = \frac{\phi^A y^A}{y^A} = \frac{p^{tr} (\phi^A y^A)}{p^{tr} y^A}$. Alokativna efikasnost vektora y^A je određena rezidualno kao odnos prihodne efikasnosti i tehničke efikasnosti, tj. $\frac{p^{tr} y^E}{p^{tr} (\phi^A y^A)}$. Izlazni vektor razlike $p^{tr} (y^E - \phi^A y^A)$ pokazuje pravac alokativne neefikasnosti (Ralević, 2014).

F) Mjerenje profitne efikasnosti

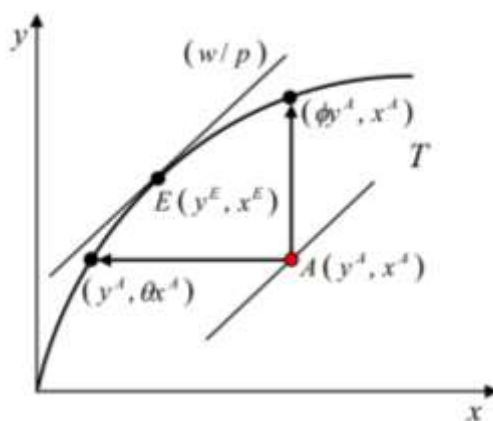
Troškovna i prihodna efikasnost su važni indikatori organizacionog učinka. Međutim, obje efikasnosti odražavaju samo jednu dimenziju ukupnog učinka. Mjerenjem profitne efikasnosti, koja predstavlja vezu između troškovne i prihodne efikasnosti, mogu se sagledati obje dimenzije. U relaciji (5.22), predstavljena je maksimalna funkcija profita ili profitna granica, pod pretpostavkom da su organizacione jedinice suočene sa izlaznim cijenama $p \in (R^+)^s$ i ulaznim cijenama $w \in (R^+)^m$, pri čemu je cilj maksimiziranje profita. Uzimajući u obzir izlazne i ulazne cijene, tehnologija može biti utvrđena relacijom (5.23). Konačno, jednakošću (5.24), predstavljeno je mjerenje profitne efikasnosti. Ono je određeno odnosom maksimalnog profita i stvarnog profita.

$$\pi(p, w) = \max_{y, x} \{p^{tr} y - w^{tr} x\} : (y, x) \in T \quad (5.22)$$

$$T = \{(y, x): (p^{tr} y - w^{tr} x) \leq \pi(p, w), p \in (R^+)^s, w \in (R^+)^m\} \quad (5.23)$$

$$PE(y, x, p, w) = \frac{\pi(p, w)}{p^{tr} y - w^{tr} x} \quad (5.24)$$

Mjerenje i dekompozicija profitne efikasnosti su predstavljeni na slici 5.4. za slučaj kada su i vektor ulaza i vektor izlaza jednodimenzionalni. Na ovoj slici, profit koji postiže neka organizaciona jedinica $A (y^A, x^A)$ koristeći tehnologiju T je manji od maksimalnog profita koji postiže jedinica $E (y^E, x^E)$ koristeći istu tehnologiju. Profitna efikasnost se dobija mjerenjem tehničke efikasnosti ulazne orijentacije, pri tome je rezidualna alokativna komponenta dio od $(y^A, \theta x^A)$ do (y^E, x^E) , ili mjerenjem tehničke efikasnosti izlazne orijentacije, tada je rezidualna alokativna komponenta dio od $\phi y^A, x^A$ do (y^E, x^E) . Profitna neefikasnost se pripisuje, bez obzira na orijentaciju, tehničkoj neefikasnosti i neodgovarajućoj srazmjeri ulaza i izlaza s obzirom na važeće cijene.



Slika 5.4. Prikaz dekompozicije profitne efikasnosti

Na osnovu Kopmansove definicije, organizaciona jedinica A na slici 5.4, profitno dominira nad svim jedinicama za koje važi da je $(y^A, x^A - \Delta x) \geq (y, x - \Delta x), \Delta x \geq 0$, pa je A benčmark ili uzor za ove jedinice. Sa druge strane, A se nalazi u profitno podređenom (inferiornom) položaju u odnosu na sve ostale jedinice za koje važi da je $(y, x - \Delta x) \geq (y^A, x^A - \Delta x)$, pa se može reći da su ove jedinice benčmarkovi za A .

Pored profitne dominacije, postoje troškovna i prihodna dominacija koje imaju vrijednosnu interpretaciju. U radu (Tulkens i Vanden Eeckaut, 1995.) pokazano je da informacija o uzorima nudi korisnu dopunu za razvoj efikasnosti. Dominacija se javlja zbog korišćenja superiorne poslovne prakse koja je prenosiva na neefikasne jedinice i/ili zbog povoljnijeg radnog okruženja. Neefikasne jedinice mogu da imaju više benčmarkova, pa zbog toga postoje i više potencijalnih uzora od kojih mogu da uče.

G) Matematički pristup za mjerenje efikasnosti

Mjerenje efikasnosti se može odnositi ne samo na organizaciju kao cijelinu, već i na organizacione jedinice kao njene sastavne elemente, ili na procese koji postoje i realizuju se unutar posmatrane organizacije. Tako se može mjeriti efikasnost organizacije, efikasnost

organizacionih jedinica i efikasnost procesa. Jedinica odlučivanja ili DMU (engl. Decision Making Unit) je zajednički pojam koji može da se koristi za sve tri kategorije.

Mjerenje efikasnosti uključuje poređenje stvarnog učinka DMU sa optimalnim učinkom koji se nalazi na granici efikasnosti. To znači, da bi se izmjerila efikasnost neke posmatrane DMU potrebno je razviti granicu efikasnosti i procijeniti udaljenost posmatrane DMU od te granice. Na taj način biće izmjerena apsolutna ili stvarna efikasnost. Pošto je stvarna granica efikasnosti nepoznata, potrebno je izvršiti empirijsku aproksimaciju koja je poznata i pod nazivom granica najbolje prakse, i procijeniti udaljenost od te granice. U ovom slučaju, biće izmjerena relativna ili približna efikasnost.

Postoje dva pristupa koji se koriste za mjerenje relativne efikasnosti. Prvi pristup je ekonometrijski koji uvodi jednakost između izokvanti i efikasnih podskupova, na taj način eliminiše realnu pretpostavku o postojanju slakova na optimalnoj radialnoj projekciji.

Drugi pristup je matematički u kome postoji razlika između izokvanti i efikasnih podskupova, na taj način se uključuje realna pretpostavka o postojanju slakova na optimalnoj radialnoj projekciji. Oba pristupa se mogu kategorizovati po tipu raspoloživih podataka i tipu raspoloživih promjenljivih. Tako, moguće je posmatrati presijek podataka za jedan vremenski period (engl. Cross-section Data Set) ili skup podataka za više vremenskih perioda (engl. Panel Data Set) sa kvantitativnim ili kvantitativnim i cijenovnim promjenljivim veličinama. Ako se koriste samo kvantitativne promjenljive, tehnička efikasnost može biti procijenjena, dok sa kvantitativnim i cijenovnim, ekonomska efikasnost može biti analizirana i dekomponovana na tehničku i alokativnu komponentu (Ralević, 2014).

Ekonometrijski pristup je stohastički, u literaturi poznat i kao parametarski. Ovaj pristup zahtijeva poznavanje specifične funkcionalne forme između izlaza i ulaza, što znači da je potrebno da postoji analitički oblik proizvodne funkcije. Model proizvodne funkcije uveden je u radu (Cobb, i Douglas, 1928.). Ovaj model je definisan kao $Y = AL^\alpha K^\beta$, gdje je Y ukupan izlaz (monetarna vrijednost svih proizvedenih roba ili pruženih usluga u posmatranom periodu), A ukupni faktor produktivnosti, L uloženi rad (ukupan broj ostvarenih radnih časova u posmatranom periodu) i K uloženi kapital (monetarna vrijednost svih mašina, opreme i zgrade).

Elastičnost rada i kapitala su dati preko parametara α i β . Ako je $\alpha + \beta > 1$, proizvodna funkcija zadovoljava uslov za rastući prinos u odnosu na obim ulaganja, ako je $\alpha + \beta < 1$, proizvodna funkcija zadovoljava uslov za opadajući prinos u odnosu na obim ulaganja. Konačno, ako je $\alpha + \beta = 1$, proizvodna funkcija zadovoljava uslov za konstantni prinos u odnosu na obim ulaganja.

U daljem tekstu ovog poglavlja, biće istražen matematički pristup za mjerenje efikasnosti. Ovaj nestohastički pristup, poznat i po opisnom nazivu Analiza obavijanja podataka sa skraćenicom DEA (engl. Data Envelopment Analysis), koristi matematičko programiranje da razvije granicu efikasnosti i procijeni relativno odstojanje od te granice. Za razliku od konvencionalnih metoda, zasnovanih na regresionoj analizi, koje posmatraju slučajeve sa jednim izlazom i više ulaza, DEA analizira jedinice odlučivanja koje su okarakterisane sa više ulaza i više izlaza.

DEA je deterministički pristup za razvijanje granice efikasnosti baziran na posmatranom skupu DMU. Granica efikasnosti se razvija tako što obavija posmatrane DMU. DEA razmatra svaku DMU pojedinačno i ispituje da li ulaze posmatrane DMU može da obavije odozdo ako se

primjenjuje ulazna orijentacija ili da li izlaze posmatrane DMU može da obavije odozgo ako se primjenjuje izlazna orijentacija. DMU može postići dati izlaz sa ulazima od kojih najmanje jedan od ulaza može da bude manji ako ta DMU može biti obavijena odozdo, ili DMU može korišćenjem istih ulaza da napravi izlaze od kojih najmanje jedan od izlaza može da bude veći ako ta DMU može biti obavijena odozgo. To znači da je DMU relativno neefikasna ako posmatrana DMU može biti obavijena, a ako ne, tada DMU učestvuje u razvijanju granice efikasnosti.

Charnes i sar. (1994., str 24) su predstavili teoriju, metodologiju i primjenu DEA i ukazali na neke njene važne osobine: težište je na pojedinačnim posmatranjima nasuprot populacionim osrednjavanjima, u analizu su uključeni veći broj ulaza i izlaza koji su izraženi vrijednosno u njihovim prirodnim jedinicama,

- mogu biti uključene u analizu egzogene promjenljive za predstavljanje ulaza i izlaza koje su pod kontrolom okruženja,
- mogu biti uključene u analizu kategorijske promjenljive za predstavljanje ulaza i izlaza koje mogu da imaju samo diskretne vrijednosti iz dopustivog skupa vrijednosti,
- ne zahtijevaju se vrijednosni faktori ili težine za ulaze i izlaze,
- mogu biti uključeni u analizu vrijednosni faktori za ulaze i izlaze kada se to želi,
- ne zahtijeva se funkcionalna forma između izlaza i ulaza,
- ukazuje se na potrebne promjene ulaza i izlaza, tačnije racionalizaciju ulaza i određivanje ciljnih izlaza ako posmatrana DMU nije efikasna,
- primjenjuju se isti kriterijumi za mjerenje efikasnosti svake DMU.

Postoje brojne studije koje ispituju efikasnost u različitim oblastima koristeći DEA. Treba napomenuti da je ova neparametarska tehnika za analizu efikasnosti prvo bila razvijena u javnom sektoru. Na primjer, u DEA literaturi može da se pronađe veći broj empirijskih studija u kojima je razmatrana efikasnost u oblasti saobraćaja i transporta.

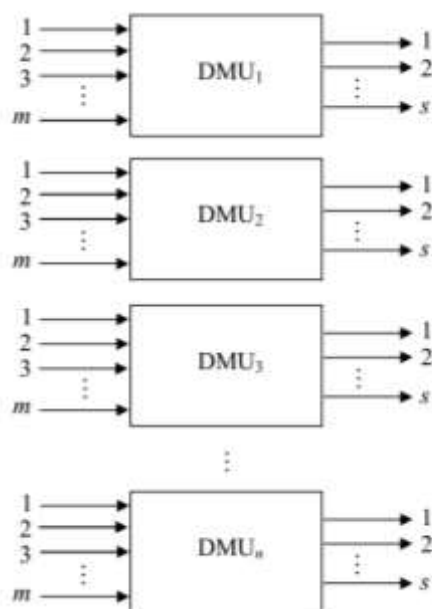
Debre-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti je bila inspiracija autora u radu (Charnes i sar., 1978.) da razviju DEA modele za mjerenje efikasnosti. Ovi modeli se mogu proširivati i modifikovati u zavisnosti od potreba i prilagođavati u primjeni u različitim oblastima.

DEA se sastoji od n linearnih optimizacija kada se posmatra n DMU za jedan vremenski period t , gdje se za svaku DMU $_j$ ($j = 1,2,3,\dots,n$) koristi m ulaza x_{ij} ($i = 1,2,3,\dots,m$) za pravljenje s izlaza y_{rj} ($r = 1,2,3,\dots,s$). Slučaj gdje se granica efikasnosti ili granica najbolje prakse razvija na osnovu n jedinica odlučivanja koje su definisane sa m ulaza i s izlaza, prikazan je na slici 5.5.

Kada se vrši izbor DMU treba voditi računa da se ne posmatraju međusobno neuporedive jedinice odlučivanja. U radu (Cooper i sar., str. 22), predloženo je nekoliko praktičnih savjeta prilikom izbora DMU: podaci o ulazima i izlazima za svaku DMU treba da budu raspoloživi za svaki ulaz i svaki izlaz i treba da imaju pozitivne vrijednosti; u analizu treba da uđu svi podaci koji su od interesa za analitičara; u principu teži se smanjenju ulaza i povećanju izlaza pa zbog toga prilikom definisanja ulaza i izlaza treba održati ovaj princip; mjerne jedinice ulaza i izlaza ne moraju biti jednorodne.

Definisanje ulaza i izlaza se izvršava na osnovu teorije i prakse iz date oblasti, i zavisi od specifičnosti rada jedinice odlučivanja. Treba definisati reprezentativne ulaze i izlaze kako bi oni mogli objektivno da prezentuju aktivnosti na koje se odnose. Pravilno odabrani ulazni i

izlazni parametri mogu vjerodostojno da predstavljaju sve resurse koje DMU koristi, kao i sve rezultate koje DMU ostvaruje. Ukoliko se parametri pravilno ne definišu, dobijeni rezultati mogu navesti na površno tumačenje, kao i na djelimično tačne i pogrešne zaključke u vezi sa efikasnošću posmatrane DMU. Vrijednosti definisanih ulaza i izlaza treba da budu dobijeni iz pouzdanih i referentnih izvora, kao i ujednačeni za sve DMU koje se porede.



Slika 5.5. DMU_j okarakterisana sa m ulaza i s izlaza

Broj DMU koje se razmatraju treba da bude veći od ukupnog broja ulaza i izlaza.

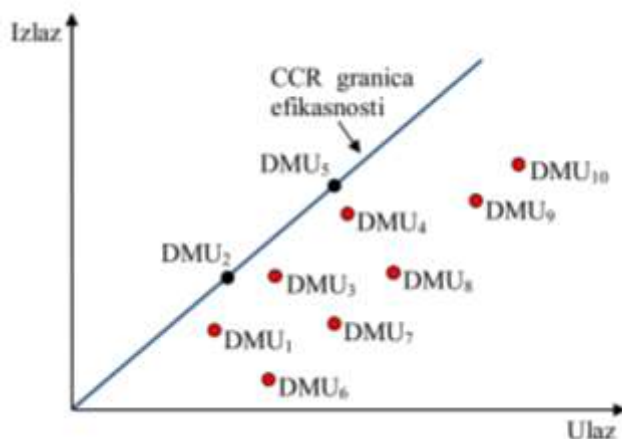
U radu (Cooper i sar., 2007.) se preporučuje da broj posmatranih DMU treba da zadovoljava uslov $n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\}$. U radu (Golany i Roll, 1989.) je dat praktičan savjet kako može da se poveća broj posmatranih DMU. Ovi autori su ukazali da broj DMU može da se poveća 4 puta ako se vrijednosti ulaza i izlaza date na godišnjem nivou podijele kvartalno.

Drugi način da se riješi problem velikog broj ulaza i izlaza je primjenom multivarijacione statističke analize (Jerkins i Anderson, 2003.). Ideja je da se iz posmatranog skupa ulaza i izlaza eliminišu određeni ulazi i izlazi, a da se pri tome ne izgube značajne informacije o efikasnosti posmatranih DMU. Ako je koeficijent korelacije između ispitivanih parova ulaza i/ili parova izlaza jednak ili približno jednak 1, a varijansa jednaka ili približno jednaka 0, tada treba eliminisati jedan od ulaza i/ili jedan od izlaza. Eliminacija visoko korelisanih ulaza i/ili izlaza u većini slučajeva neće presudno uticati na efikasnost posmatranih DMU. Međutim, treba napomenuti da rezultati dobijeni multivarijacionom statističkom analizom mogu u nekim slučajevima da eliminišu neke visoko korelisane ulaze i/ili izlaze koji su veoma važni za efikasnost posmatranih DMU.

DEA metoda je korisna za razvijanje relativne efikasnosti za skup sastavljen od više jedinica odlučivanja. Iz skupa DEA modela razvijenih za tu svrhu, mogu da se izdvoje dva modela koja se najviše koriste. Prvi je CRS (engl. Constant Returns to Scale) DEA model, a drugi je VRS (engl. Variable Returns to Scale) DEA model. Prvi je originalan DEA model, drugi je prošireni CRS DEA model. Treba istaći da su ostali DEA modeli razvijeni za mjerenje efikasnosti nastali na osnovu ova dva DEA modela kao njihova nadogradnja, modifikacija i prilagođavanje. Na primjer, to su: aditivni (engl. Additive) modeli (Charnes i sar., 1985.), neprecizni (engl.

Imprecise) modeli (Cooper et al., 1999.; Zhu, 2003.), region (engl. Region) modeli (Thompson i sar., 1986.) modeli za mjerenje super-efikasnosti (Andersen i Petersen, 1993.; Li i sar. 2007.) i kon ratio (engl. Cone Ratio) modeli (Charnes i sar., 1990.). Generalni okvir DEA modela i njihovo taksativno navođenje može biti pronađeno u (Kleine, 2004.; Gattoufi i sar., 2004.).

CRS DEA model je osnovni i originalni model za mjerenje efikasnosti. Ovaj model je poznat i kao CCR model, nazvan po početnim slovima prezimena autora, predložen u radu (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978.). CCR model pretpostavlja konstantni prinos u odnosu na obim ulaganja. To znači da ovaj model razmatra DMU unutar tehnologije koja pokazuje konstantne prinose u odnosu na obim ulaganja. Na slici 5.6. prikazana je CCR granica efikasnosti u dvije dimenzije za slučaj kada postoji jedan ulaz i jedan izlaz, tj. kada je $m = 1$ i $s = 1$. U ovom slučaju od posmatranih deset jedinica odlučivanja, CCR granica efikasnosti je određena na osnovu DMU₂ i DMU₅.



Slika 5.6. Granica efikasnosti CCR modela

CCR model je formulisan kao problem linearnog programiranja. Dualni problem od ovog modela može takođe biti korišćen. U Tabeli 5.1 prikazane su obje forme modela, tj. CCR model formulisan kao primalni problem ili primal i CCR model formulisan kao dualni problem ili dual za slučaj kada je izabrana ulazna orijentacija. U Tabeli 5.2. prikazane su primalna i dualna forma ovog modela za slučaj kada je izabrana izlazna orijentacija (Ralević, 2014).

Tabela 5.1. Primal i dual CCR modela, ulazno orijentisani

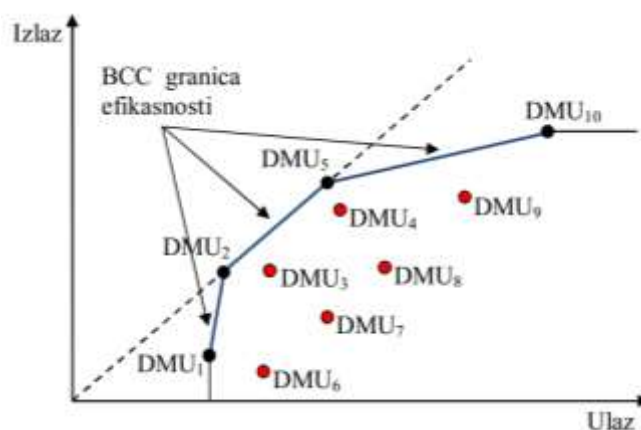
CCR model - primal	CCR model – dual
$\theta^* = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$	$\theta^* = \min \theta$
Uz uslove: $\sum_{r=1}^m v_i x_{i0} = 1$	Uz uslove: $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$
$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{r=1}^m v_i x_{ij}, j = 1, 2, 3, \dots, n;$	$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$
$v_i \geq 0, u_r \geq 0$	$\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$

Tabela 5.2. Primal i dual CCR modela, izlazno orijentisani

CCR model - primal	CCR model - dual
$\theta^* = \min \sum_{i=1}^m v_i y_{r0}$	$\theta^* = \min \theta$
Uz uslove:	Uz uslove:
$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$	$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$
$\sum_{r=1}^m v_i x_{ij} \leq \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}, j = 1, 2, 3, \dots, n;$	$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$
$v_i \geq 0, u_r \geq 0$	$\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$

VRS DEA model je drugi osnovni model za mjerenje tehničke efikasnosti. Ovaj model je uveo Afriat (Afriat, 1972.), poznat je i kao BCC model, nazvan po početnim slovima prezimena autora, predložen u radu (Banker, Charnes, Cooper, 1984.). BCC model pretpostavlja promjenljivi prinos u odnosu na obim ulaganja. To znači da BCC model može da razmatra i DMU unutar tehnologije koja pokazuje promjenljive prinose u odnosu na obim ulaganja.

Na slici 5.7. prikazana je BCC granica efikasnosti u dvije dimenzije za slučaj kada jedinice odlučivanja koriste jedan ulaz i prave jedan izlaz ($m = 1$ i $s = 1$). Ova granica efikasnosti je od posmatranih deset DMU određena na osnovu DMU₁, DMU₂, DMU₅ i DMU₁₀.



Slika 5.7. Granica efikasnosti BCC modela

BCC granica efikasnosti, prikazana na slici 5.7., ima tri različita linearna dijela. Prvi dio je linija od DMU₁ do DMU₂ koji predstavlja rastući prinos u odnosu na obim ulaganja, drugi dio je od DMU₂ do DMU₅ koji predstavlja konstantni prinos u odnosu na obim ulaganja i posljednji dio je od DMU₅ do DMU₁₀ koji predstavlja opadajući prinos u odnosu na obim ulaganja. Može da se primijeti da u dijelu od DMU₂ do DMU₅, BCC granica efikasnosti postaje CCR granica efikasnosti.

BCC model se koristi u primalnoj i dualnoj formi. Primal i dual BCC modela su prikazani u Tabeli 5.3 za slučaj kada je izabrana ulazna orijentacija, a u Tabeli 5.4 su date obje forme modela za slučaj kada je izabrana izlazna orijentacija.

Tabela 5.3. Primal i dual BCC modela, ulazno orijentisani

BCC model - primal	BCC model - dual
$\theta^* = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = u_0$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{r=1}^m v_i x_{i0} = 1$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{r=1}^m v_i x_{ij} - u_0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$ $v_i \geq 0, u_r \geq 0$ <p>u_0 je slobodna u znaku</p>	$\theta^* = \min \theta$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$

Tabela 5.4. Primal i dual BCC modela, izlazno orijentisani

CCR model - primal	CCR model - dual
$\theta^* = \min \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$ $\sum_{r=1}^m v_i x_{ij} \leq \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - v_0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$ $v_i \geq 0, u_r \geq 0$ <p>v_0 je slobodna u znaku</p>	$\phi^* = \min \phi$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$

U primalnoj i dualnoj formi CCR i BCC modela ulazne i izlazne orijentacije, θ označava ocjenu efikasnosti. DMU₀ predstavlja jednu od DMU koja se procjenjuje, x_{i0} i y_{r0} jesu i -ti ulaz i r -ti izlaz za DMU₀, respektivno. U primalnoj formi CCR i BCC modela, težinski koeficijenti za ulaze su označeni sa v_i , dok su težinski koeficijenti za izlaze označeni sa u_i . U dualnoj formi ovih modela λ_j su dualne promjenljive koje predstavljaju benčmarkove.

Za slučaj kada se za mjerenje tehničke efikasnosti koristi primalna forma CCR ili BCC modela, tada DMU₀ je efikasna ako i samo ako je $\theta = 1$ (za ulaznu orijentaciju) ili $\phi = 1$ (za izlaznu orijentaciju) i postoji najmanje jedno optimalno rešenje (v_i^*, u_r^*).

U ostalim slučajevima DMU_0 je neefikasna. Ako je za mjerenje tehničke efikasnosti izabrana dualna forma ovih modela, tada DMU_0 je efikasna ako i samo ako je ocjena efikasnosti $\theta = 1$ (za ulaznu orijentaciju) ili $\phi = 1$ (za izlaznu orijentaciju) i benčmarkovi $\lambda_j = 0$ za svako j osim za DMU_0 za koju je $\lambda = 1$. U svim ostalim slučajevima DMU_0 je neefikasna.

Primalne forme NDRS (engl. Non Decreasing Returns to Scale) i NIRS (engl. Non Increasing Returns to Scale) modela mogu da se dobiju iz primalne forme BCC modela. Ako se u primalnoj formi BCC modela ulazne orijentacije postavi uslov $u_0 \geq 0$ ili $u_0 \leq 0$ dobijaju se ulazno orijentisani NDRS i NIRS modeli, respektivno. Ako se u primalnoj formi BCC modela izlazne orijentacije postavi uslov $v_0 \leq 0$ ili $v_0 \geq 0$ dobijaju se izlazno orijentisani NDRS i NIRS modeli, respektivno.

Dualne forme NDRS i NIRS modela se mogu dobiti iz dualne forme BCC modela. Zamjenom ograničenja $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ u dualnoj formi BCC modela sa ograničenjem $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$ ili $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$ dobijaju se dualne forme NDRS i NIRS modela, respektivno.

NDRS i NIRS modeli su varijante BCC modela i koriste se kada je poznato da DMU radi, u prvom slučaju, unutar tehnologije koja pokazuje neopadajući prinos u odnosu na obim ulaganja, ili u drugom slučaju, unutar tehnologije koja pokazuje nerastući prinos u odnosu na obim ulaganja.

Ulazno orijentisani CCR i BCC DEA modeli razmatraju mogućnost radijalnog (proporcionalnog) smanjenja ulaza pri čemu izlaze održavaju na tekućim nivoima. Izlazno orijentisani CCR i BCC DEA modeli razmatraju mogućnost radijalnog povećanja izlaza pri čemu ulaze drže na tekućim nivoima.

Zbog toga što ovi modeli reprezentuju radijalno mjerenje, poznati su u literaturi i kao radijalni DEA modeli. U Tabeli 5.5 prikazani su CRS slak-bazirani model (engl. CRS Slack-based Model) i ponderisani CRS slak-bazirani model kao kombinacija obje orijentacije. Ovi modeli su poznati kao aditivni DEA modeli. Oba modela su predstavnici neradijalnog mjerenja efikasnosti.

Tabela 5.5. Primalna forma CRS i ponderisanog CRS slak-baziranog modela

CRS slak-bazirani model	Ponderisani CRS slak-bazirani model
$\max \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n.$ <p>u_0 je slobodna u znaku</p>	$\max \sum_{i=1}^m w_i^- s_i^- + \sum_{r=1}^s w_r^+ s_r^+$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ \geq y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n.$

CRS slak-bazirani model za razliku od CCR i BCC DEA modela, razmatra mogućnost simultanog smanjenja ulaza i povećanja izlaza. Model je predložen u radu (Charnes i sar., 1985.), zasnovan na ulaznim slakovima (s_i^-) i izlaznim slakovima (s_r^+). Model pretpostavlja jednake marginalne vrijednosti za sve nenegativne ulazne i izlazne slakove. DMU₀ je efikasna ako i samo ako je $s_i^- = s_r^+ = 0$ za sve i i r . U suprotnom, optimalno $s_i^- > 0$ ukazuje da postoji neumerenost u korišćenju i -tog ulaza, dok optimalno $s_r^+ > 0$ identifikuje manjak u r -tom izlazu.

Prema tome, rješenje CRS slak-baziranog modela pravi informacije o mogućoj racionalizaciji određenih ulaza, ali daje i mogućnost definisanja ciljnih vrijednosti određenih izlaza za neefikasne DMU. Nedostatak ovog modela je u tome što ne može da obezbijedi ponderaciju ulaza i izlaza u slučajevima kada ne postoji jednakost ulaza i izlaza u vrijednosnom smislu.

Tačnije, ovaj model ne može da obezbijedi uključivanje mišljenja eksperata o vrijednostima pojedinih ulaza i izlaza. Zato je model modifikovan u radu (Ali i sar., 1995.) u ponderisani CRS slak-bazirani model. Ulazne težine (ponderi) w_i^- i izlazne težine w_r^+ određuje korisnik kroz vrijednosni sud o značaju pojedinih ulaza i izlaza.

Dodavanjem ograničenja $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$ ili $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$ u prvi ili drugi aditivni DEA model, mogu se dobiti, u prvom slučaju VRS, NDRS ili NIRS slak-bazirani modeli, ili u drugom slučaju ponderisani VRS, NDRS ili NIRS slak-bazirani modeli, respektivno.

Korisno je istaći da se ovi aditivni DEA modeli mogu koristiti i u dualnoj formi. U Tabeli 5.6. prikazana je dualna forma CRS i ponderisanog CRS slak-baziranog modela.

Tabela 5.6. Dualna forma CRS i ponderisanog CRS slak-baziranog modela

CRS slak-bazirani model	Ponderisani CRS slak-bazirani model
$\min \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} - \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} + u_0$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0, i = 1, 2, 3, \dots, n;$ <p>$v_i \geq 0, u_r \geq 0$</p> <p>u_0 je slobodna u znaku</p>	$\min \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} - \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} + u_0$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0, j = 1, 2, 3, \dots, n;$ <p>$v_i \geq w_i^-, u_r \geq w_r^+$</p> <p>$u_0$ je slobodna u znaku</p>

Treba napomenuti da modeli dati u Tabeli 5.6 ne daju obavezno različite rezultate. Posebno, neće se promijeniti klasifikacija na efikasne i neefikasne DMU, tj. primjenom jednog ili drugog modela neće doći do promjene neke DMU iz efikasne u neefikasnu ili obrnuto.

H) Modeli za mjerenje ekonomske efikasnosti

Prethodno opisani modeli su fokusirani na tehnički aspekt efikasnosti. U ovom dijelu, predstavljeni su modeli koji mjere efikasnost u slučajevima kada su poznati troškovi za ulaze i cijene za izlaze.

Tehnologija i troškovi karakterišu savremene organizacije. Neke organizacije imaju prednosti u tehnološkom smislu, a druge u uštedi na troškovima. Zbog toga, menadžment želi da zna kako i u kojoj mjeri resursi organizacije mogu biti efikasno korišćeni u poređenju sa drugim sličnim organizacijama u istoj ili sličnoj oblasti.

U tabeli 5.7 prikazani su modeli koji koriste novi pristup mjerenja ekonomske efikasnosti. Jedan model se koristi za mjerenje troškovne efikasnosti a drugi se koristi za mjerenje prihodne efikasnosti.

U tabeli 5.8 prikazan je model za mjerenje profitne efikasnosti. DMU_0 je troškovno efikasna, prihodno efikasna i profitno efikasna ako i samo ako je ocjena troškovne efikasnosti $c^* = 1$, ocjena prihodne efikasnosti $r^* = 1$, ocjena profitne efikasnosti $\pi^* = 1$, i benčmarkovi $\lambda_j = 0$, za svako j osim za DMU_0 za koju je $\lambda = 1$

Oznake w^{i0} i p_r^0 koje se pojavljuju u modelima (Tabele 5.7 i 5.8) predstavljaju cijenu i -tog ulaza i cijenu r -tog izlaza za posmatranu DMU_0 , respektivno.

Oznake \tilde{x}_{i0} i \tilde{y}_{r0} predstavljaju i -ti ulaz za koji se zahtijeva minimum troškova i r -ti izlaz koji ostvaruje maksimalni prihod (Ralević 2014.)

Tabela 5.7. Mjerenje troškovne i prihodne efikasnosti

CRS model za mjerenje troškovne efikasnosti	CRS model za mjerenje prihodne efikasnosti
$c^* = \min \frac{\sum_{i=1}^m w_i^0 \tilde{x}_{i0}}{\sum_{i=1}^m w_i^0 x_{i0}}$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \tilde{x}_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $\tilde{x}_{i0} \leq x_{i0};$ $\lambda_j, \tilde{x}_{i0} \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n.$	$r^* = \max \frac{\sum_{r=1}^s p_r^0 \tilde{y}_{r0}}{\sum_{r=1}^s p_r^0 y_{r0}}$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \tilde{y}_{r0}, i = 1, 2, 3, \dots, s;$ $\tilde{y}_{r0} \geq y_{r0};$ $\lambda_j, \tilde{y}_{r0} \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n.$

Tabela 5.8. Mjerenje profitne efikasnosti

CRS model za mjerenje profitne efikasnosti
$\pi^* = \max \frac{\sum_{r=1}^s p_r^0 \tilde{y}_{r0}}{\sum_{r=1}^s p_r^0 y_{r0}} - \frac{\sum_{i=1}^m w_i^0 \tilde{x}_{i0}}{\sum_{i=1}^m w_i^0 x_{i0}}$ <p>Uz uslove:</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \tilde{x}_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \tilde{y}_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ <p>$\tilde{x}_{i0} \leq x_{i0}; \tilde{y}_{r0} \geq y_{r0};$</p> <p>$\lambda_j, \tilde{x}_{i0}, \tilde{y}_{r0} \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n.$</p>

I) Modeli za rangiranje efikasnih DMU

Nedostatak prikazanih modela za mjerenje efikasnosti (tehničke i ekonomske) je u tome što se efikasnim DMU dodijeljuje ista ocjena efikasnosti. To podrazumijeva da sve efikasne DMU podjednako dobro rade. Međutim, to nije realno jer i između efikasnih DMU postoji određena razlika u postignutoj efikasnosti.

Ovu realnost nije moguće sagledati prethodno opisanim modelima jer oni svim efikasnim DMU dodijeljuju ocjenu efikasnosti jednaku 1, pa nije moguće napraviti redoslijed efikasnih DMU. Za ovu svrhu razvijeno je nekoliko analitičkih pristupa za rangiranje efikasnih DMU. Pregled analitičkih pristupa za rangiranje takvih DMU je prikazan u radovima (Adler i sar., 2002.; Jablonsky, 2012.).

U radu (Andersen i Petersen, 1993.), predložen je AP model za rangiranje. Ovaj model dozvoljava da se efikasnim jedinicama odlučivanja dodijeljuje ocjena efikasnosti veća od 1 (ulazna orijentacija) ili manja od 1 (izlazna orijentacija) čime se pravi razlika između njih. Na ovaj način dodijeljena ocjena je poznata kao ocjena super-efikasnosti (engl. Super-efficiency Score), a predloženi model je poznat kao AP model za mjerenje super-efikasnosti. Ovi autori su u stvari modifikovali osnovni CCR model, tako što se iz skupa efikasnih DMU koji se rangiraju izostavlja DMU₀. Na taj način se procjenjuje odstojanje DMU₀ od granice efikasnosti koja je razvijena bez njenog učešća. AP model predstavlja radijalni pristup u mjerenju efikasnosti.

U Tabeli 5.9., predstavljen je ovaj model u obje orijentacije.

Tabela 5.9. Rangiranje efikasnih DMU

AP model (ulazna orijentacija)	AP model (izlazna orijentacija)
$\theta^{SE*} = \min \theta^{SE}$ Uz uslove: $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\} \setminus \{j_0\}}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta^{SE} x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\} \setminus \{j_0\}}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $j_0 \in \{1, 2, 3, \dots, n\};$ $\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n.$	$\phi^{SE*} = \max \phi^{SE}$ Uz uslove: $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\} \setminus \{j_0\}}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$ $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\} \setminus \{j_0\}}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi^{SE} y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$ $j_0 \in \{1, 2, 3, \dots, n\};$ $\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n.$

AP model omogućava da se efikasne jedinice rangiraju na osnovu dobijenih ocjena super-efikasnosti. Ako je izabran AP model sa ulaznom orijentacijom, tada DMU koja ima najveću vrijednost ocjene super-efikasnosti postiže najbolju efikasnost. Sa druge strane, ako je izabran AP model sa izlaznom orijentacijom, tada najbolju efikasnost postiže ona efikasna DMU koja ima najmanju vrijednost ocjene super-efikasnosti. Korisno je napomenuti da je u radu (Banker i Chang, 2006.), dokazano da modeli za mjerenje super-efikasnosti mogu da se koriste za otkrivanje nestandardnih DMU. Praksa je da se iz analize isključuju DMU koje imaju ocjenu super-efikasnosti višu od 3 ili tri puta veću efikasnost od bilo koje druge DMU (ulazna orijentacija) i manju od 0,3 ili tri puta manju od bilo koje druge DMU (izlazna orijentacija). Takve DMU utiču negativno na objektivnost analize.

J) DEA programski paketi i razvojna okruženja

Ručno rješavanje prethodno definisanih modela za svaku posmatranu DMU, posebno kada postoji veći broj ulaza i izlaza što je najčešće slučaj u praksi, bio bi spor i mukotrpan posao, podložan greškama. Zbog toga su se razvili komercijalni i nekomercijalni softveri koji mogu da se koriste za rješavanje određenih DEA modela.

Najpoznatiji komercijalni softveri su:

- DEA Solver Pro, Verzija 4.0, (<http://www.saitech-inc.com/>), zahtjeva operativni sistem Microsoft Windows, Microsoft Excel 97 ili noviju verziju,
- Frontier Analyst, Verzija 3.1.5, (<http://www.banxia.com/>), zahteva operativni sistem Microsoft Windows 95/98/2000/NT/XP,
- OnFront, Verzija 2.02, (<http://www.emq.com/>), zahtjeva operativni sistem Microsoft Windows 95/98/2000/NT/XP, 16MB memorije, 8MB prostora na hard disku,
- Warwick DEA, (<http://www.deazone.com/>), zahteva operativni sistem Microsoft Windows, DOS.

Najpoznatiji nekomercijalni softveri su:

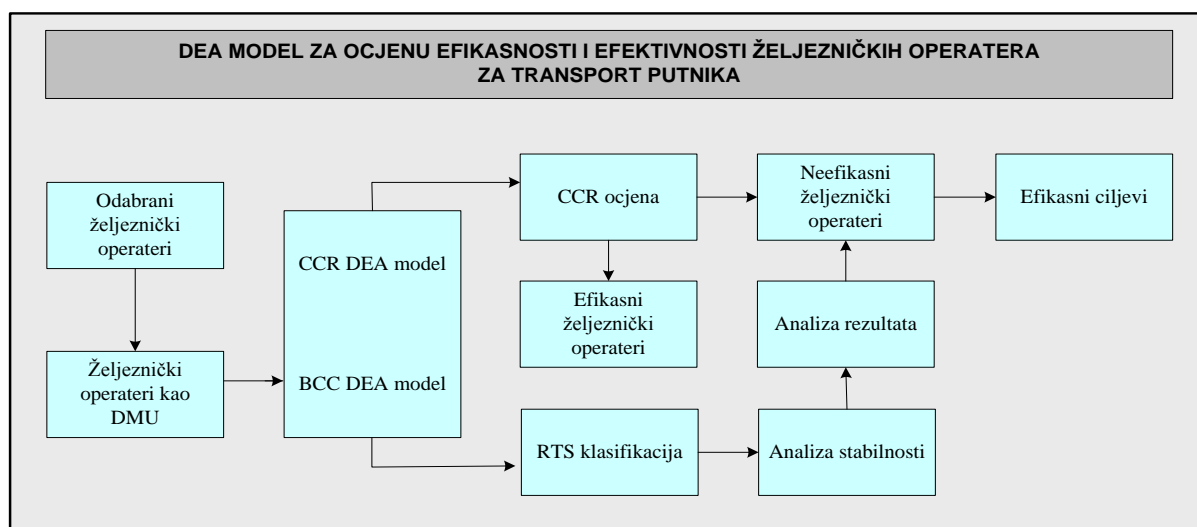
- DEA Excel Solver, (<http://www.deafontier.net>), zahtjeva operativni sistem Microsoft Windows, Microsoft Excel 97 ili noviju verziju,
- DEAP, Verzija 2.1, (<http://www.uq.edu.au/economics/cepa/software.php>), zahtjeva operativni sistem DOS,
- EMS, Verzija 1.3, (<http://www.wiso.tu-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems>), zahtjeva operativni sistem Microsoft Windows,
- Pioneer, Verzija 2.0, (<http://faculty.smu.edu/barr/pioneer/>), zahtjeva operativni sistem Microsoft Windows, DOS, Unix.

Svi nabrojani softveri imaju osobinu da mogu da rješavaju obje orijentacije efikasnosti, ulaznu i izlaznu. Pregled karakteristika spomenutih softverskih paketa je dat u (Barr, 2004).

U doktorskoj disertaciji, proračuni efikasnosti su izvršeni korišćenjem nekomercijalnog DEA Excel Solver softvera. Ovaj softver je opisan u (Zhu, 2003.). Karakteristike softvera, kao i uputstva za rješavanje DEA modela koji su bili izabrani i korišćeni u tezi, predstavljani su u Prilogu F ove disertacije.

5.1.2. DEA MODEL ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

U ovom dijelu, predložen je model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Model je zasnovan na ocjeni efikasnosti i efektivnosti korišćenjem DEA metode. Realizacija modela predviđa obavljanje nekoliko faza. Prvo, potrebno je da budu definisani ulazi i izlazi za DMU kod kojih se zahtijeva ocjena efikasnosti i efektivnosti (u posmatranom slučaju to su željeznički operateri). Dalje, model se izvršava kroz dva paralelna procesa. Prvi proces je vezan za razvrstavanje DMU na efikasne i neefikasne u zavisnosti od CCR i BCC ocjena. Drugi proces zahtijeva da se uradi analiza stabilnosti. To omogućava da se identifikuju DMU kod kojih postoji potreba za racionalizacijom. Na kraju, optimalne vrijednosti za ulaze i izlaze izvode se korišćenjem CRS slak-baziranog modela. Model je predstavljen na slici 5.8.



Slika 5.8. DEA model za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport putnika

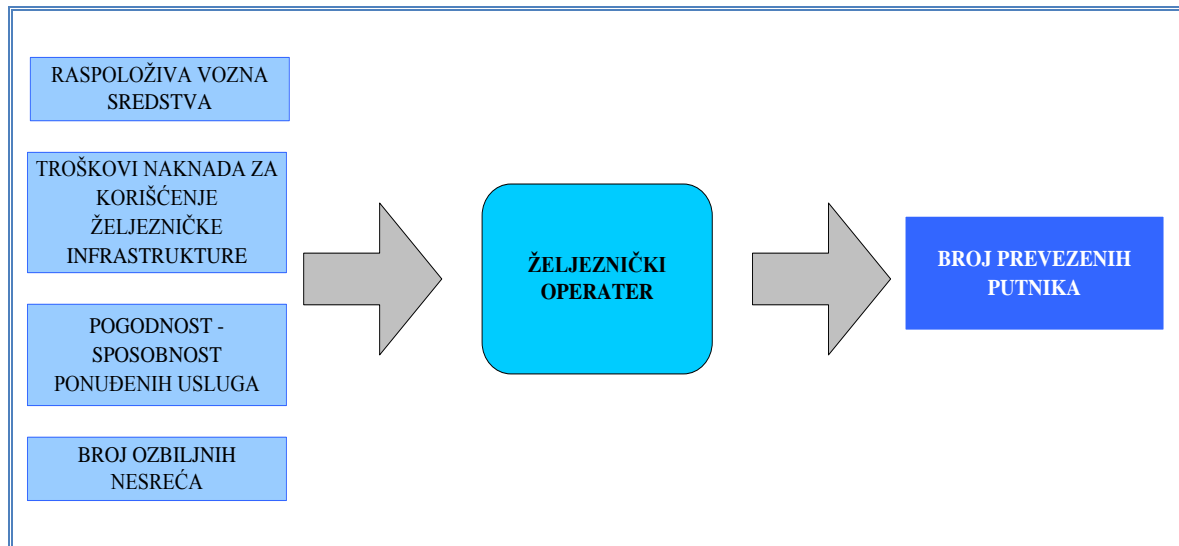
Predloženi model je testiran i verifikovan kroz istraživanje sprovedeno na uzorku od 21 željezničkog operatera za transport putnika koji je predstavljen u tabeli 5.10.

Korišćen je izvor podataka za operatere iz statistike UIC i godišnjih izvještaja željezničkih operatera.

Tabela 5.10. Željeznički operateri za transport putnika

Zemlja	Željeznički operater	Skraćena oznaka
Austrija	ÖBB Personenverkehr AG	ÖBB
Albanija	Hekurudha Shqiptarë SH.	HSH
Belgija	Société nationale des chemins de fer Belges/Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen	SNCB/NMBS
Bosna i Hercegovina	Željeznice Republike Srpske	ŽRS
Bosna i Hercegovina	Željeznice Federacije BiH	ŽFBiH
Bugarska	Bulgarian state railways passenger	BDZ
Crna Gora	Željeznički prevoz Crne Gore AD	ŽPCG
Češka	České Dráhy	ČD
Francuska	Société Nationale des Chemins de fer français Voyages	SNCF Voyages
Holandija	NS Reizigers BV	NS Reizigers
Hrvatska	HŽ Putnički prijevoz d.o.o.	HŽ
Mađarska	MÁV-Start Vasúti Személyszállító Zrt.	MÁV-Start
Makedonija	Makedonski Železnici Transport AD Skopje	MŽT
Njemačka	Deutsche Bahn DB Vertrieb GmbH	DB Vertrieb GmbH
Poljska	Polskie Koleje Państwowe Spółka Akcyjna	PKP
Rumunija	Societatea Națională de Transport Feroviar de Călători	CFR Călători
Slovačka, a.s.	Železničná spoločnosť Slovensko	ZSSK
Slovenija	Slovenske železnice - Potniški promet d.o.o.	SŽ - Potniški promet
Srbija	Srbija Voz a.d.	SV
Švajcarska	Swiss Federal Railways-Passenger subsidiary	SBB-Passengers
Velika Britanija	Association of Train Operating Companies Limited	ATOC Ltd

Željeznički operater za transport putnika kao DMU bio je određen sa 4 ulaza i jednim izlazom kao što je predhodno određeno Fazi AHP–om i prikazano na slici 5.9. Prvi ulaz predstavlja raspoloživi broj voznih sredstava, drugi ulaz predstavlja troškove naknada koje željeznički operater plaća upravljaču infrastrukture, treći ulaz predstavlja pogodnost operatera (sposobnost ponuđenih usluga) i četvrti ulaz je broj ozbiljnih nesreća. Izlaz modela predstavlja ukupan broj prevezenih putnika.



Slika 5.9. Željeznički operater kao DMU za ocjenu efikasnosti

Podaci za ulaze i izlaze dati su u Prilogu E.

5.1.3. OCJENA EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

CCR je originalni DEA model za određivanje relativne efikasnosti za grupu DMU, koji je predhodno predstavljen u potpoglavlju 5.1.1. Jedna formulacija CCR modela ima za cilj da minimizira ulaze zadržavajući dati nivo izlaza, tj. CCR ulazno-orijentisani model (M5.1 model). Druga formulacija CCR modela ima za cilj da maksimizira izlaze bez povećavanja vrijednosti nekog od posmatranih ulaza, tj. CCR izlazno-orijentisani model (M5.1' model). CCR modeli pretpostavljaju konstantni RTS (engl. *Constant Returns to Scale*), a CCR ocjene mjere ukupnu efikasnost.

M5.1 model

$$\theta^* = \min \theta$$

Uz uslove:

$$\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io}, i = 1,2,3,\dots,m;$$

$$\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, r = 1,2,3,\dots,s;$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1,2,3,\dots,n.$$

M5.1' model

$$\phi^* = \max \phi$$

Uz uslove:

$$\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, i = 1,2,3,\dots,m;$$

$$\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{ro}, r = 1,2,3,\dots,s;$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1,2,3,\dots,n.$$

Ako se u modelima M5.1 i M5.1' doda $\sum \lambda_j = 1$, tada se dobija BCC ulazno- orijentisani i BCC izlazno-orijentisani modeli, respektivno. BCC modeli pretpostavljaju promjenljivi RTS (engl. *Variable Returns to Scale*), a BCC ocjene mjere čistu tehničku efikasnost (engl. *Pure Technical Efficiency*).

A) RTS klasifikacija

U DEA literaturi postoji nekoliko pristupa za procjenjivanje RTS (engl. Return to Scale) klasifikacije. U radu (Seiford i Zhu, 1999a.), pokazano je da postoje najmanje tri ekvivalentne RTS metode. Prvu CCR RTS metodu je uveo Banker (Banker, 1984.). Drugu BCC RTS metodu su razvili Banker i sar. (1984), kao alternativni pristup korišćenja slobodnih promjenljivih u BCC dualnom modelu. Treća RTS metoda bazira se na razmjernom indeksu efikasnosti (engl. Scale Efficiency Index) i predložena je u radu (Fare i sar., 1994a.). CCR RTS metoda je bazirana na sumi vrijednosti dualnih promjenljivih λ_j u CCR modelu, i korišćena je za RTS klasifikaciju posmatranih željezničkih operatera. RTS klasifikacija je izvedena korišćenjem sljedeće teoreme:

Teorema 1. Neka su λ_j^* optimalne vrijednosti dualnih promjenljivih u M5.1 modelu, RTS klasifikacija za DMU₀ može biti determinisana sa sljedećim uslovima:

- (i) Ako je $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j^* = 1$ tada dominira konstantni RTS, tj. CRS (engl. Constant Returns to Scale).
- (ii) Ako je $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j^* > 1$ tada dominira opadajući RTS, tj. DRS (engl. Decreasing Returns to Scale).
- (iii) Ako je $\sum_{j \in \{1,2,3,\dots,n\}} \lambda_j^* < 1$, tada dominira rastući RTS, tj. IRS (engl. Increasing Returns to Scale).

B) Analiza stabilnosti

Analiza stabilnosti RTS klasifikacije i metode za procjenjivanje RTS klasifikacije u DEA, obezbjeđuju važne informacije o mogućim preturbacijama (engl. *Data Perturbations*) ulaznih i izlaznih vrijednosti u analizi DMU. Ove informacije mogu pozitivno da djeluju na učinak koji postiže DMU. One omogućavaju neefikasnim DMU da se odredi upustvo za poboljšanje

efikasnosti. Analiza stabilnosti obezbeđuje intervale stabilnosti za očuvanje izvedene RTS klasifikacije za svaku DMU posebno. To omogućava razmatranje preturbacija za sve ulaze ili izlaze od posmatrane DMU. Ulazno-orijentisana analiza stabilnosti RTS klasifikacije dozvoljava izlazne preturbacije (engl. *Output Perturbations*), dok analiza stabilnosti koja je izlazno-orijentisana, dopušta ulazne preturbacije (engl. *Input Perturbations*). Donja i gornja granica intervala stabilnosti može biti određena na osnovu sljedećih teorema koje su date i dokazane u radu (Seiford, i Zhu, 1999b.):

Teorema 2. Pretpostavimo da DMU_0 pokazuje CRS. Ako je $\gamma \in R^{CRS} = \{\gamma: \min\{1, \mu_0^*\} \leq \gamma \leq \max\{1, \eta_0^*\}\}$ onda se CRS klasifikacija i dalje zadržava, gdje γ predstavlja proporcionalnu promjenu svih ulaza, $\hat{x}_{i0} = \gamma x_{i0}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), a η_0^* i μ_0^* su definisani u M5.2 i M5.2' modelima, respektivno.

Teorema 3. Pretpostavimo da DMU_0 pokazuje DRS. DRS klasifikacija se i dalje zadržava za $\xi \in R^{DRS} = \{\xi: \eta_0^* < \xi \leq 1\}$, gdje ξ predstavlja proporcionalno smanjenje svih ulaza, $\hat{x}_{i0} = \xi x_{i0}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), a η_0^* je definisano u M5.2 modelu.

Teorema 4. Pretpostavimo da DMU_0 pokazuje IRS. IRS klasifikacija se i dalje zadržava za $\zeta \in R^{IRS} = \{\zeta: 1 < \zeta \leq \mu_0^*\}$, gdje ζ predstavlja proporcionalnu promjenu svih ulaza, $\hat{x}_{i0} = \zeta x_{i0}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), a μ_0^* je definisano u M5.2' modelu.

M5.2 model

$$\eta_0^* = \frac{1}{\min \sum_{j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}} \lambda_j}$$

Uz uslove

$$\sum_{j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$$

$$\sum_{j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}} \lambda_j y_{rj} \geq \phi^* y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n.$$

M5.2' model

$$\mu_0^* = \frac{1}{\max \sum_{j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}} \lambda_j}$$

Uz uslove

$$\sum_{j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, i = 1, 2, 3, \dots, m;$$

$$\sum_{j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}} \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{r0}, r = 1, 2, 3, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n.$$

C) Optimalne vrijednosti ulaza i izlaza

Problem određivanja optimalnih vrijednosti za ulaze i izlaze kod onih DMU koje pokazuju neefikasnost može da bude riješen korišćenjem aditivnih DEA modela (M5.3 i M5.3' modeli). M5.3 i M5.3' modeli razmatraju mogućnost racionalizacije. Istovremeno, ovi modeli mogu da odrede efikasne ciljeve kojima treba težiti. To omogućava da one DMU koje pokazuju neefikasnost postignu optimalan odnos ulaza i izlaza.

M5.3 model

$$\max \sum_{i=1} s_i^- = \sum_{r=1} s_i^+$$

Uz uslove

$$\sum_{j=1} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1} \lambda_j y_{rj} - s_i^+ \geq y_{r0}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, s;$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_i^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n.$$

M5.3' model

$$\min \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} - \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} + u_0$$

Uz uslove

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$$v_i \geq 0, \quad u_r \geq 0$$

u_0 je slobodna u znaku

Optimalne vrijednosti za svaki ulaz i izlaz posebno, mogu se izračunati korišćenjem rješenja iz M5.3 ili M5.3' modela, tj. određivanjem ulaznih i izlaznih slakova. Tako, na primjer, korišćenjem rezultata M5.3 modela, optimalne vrijednosti za ulaze i izlaze se dobijaju na način kao što je to predstavljeno u (5.25) i (5.26), respektivno.

$$x_{i0}^{op} = x_{i0} - s_{i0}^- \tag{5.25}$$

$$y_{r0}^{op} = y_{r0} + s_{r0}^+ \tag{5.26}$$

Rezultati i analiza rezultata testiranja modela na realnom primjeru predstavljani su u poglavlju 6.2. ove disertacije.

5.2. RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA FUZZY LOGIKOM

Fuzzy logika je nastala kao posljedica pokušaja da se modelira čovjekovo razmišljanje, iskustvo i intuicija u procesu donošenja odluka na osnovu nepreciznih podataka. Pogodna je za izražavanje neodređenosti i neizvjesnosti. Primjena fuzzy logike se pokazala kao odlična u onim modelima u kojima su intuicija i procjena primarni elementi (Beljaković, 2012.)

U ovom poglavlju predstavljena je teorijska osnova Fuzzy logike i razvijeni su modeli za realizaciju istraživačkih ciljeva ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

5.2.1. TEORIJSKA OSNOVA FUZZY LOGIKE

Fuzzy skupovi kao potpuno nov pojam, definisani su 1965. godine (Zadeh, 1965.) i uvedeni sa osnovnim ciljem da na matematički formalizovan način predstave i modeliraju neodređenosti u lingvistici.

Fuzzy sistemi su u velikoj mjeri postali zamjena konvencionalnim tehnologijama u velikom broju naučnih aplikacija i inženjerskih sistema, naročito u oblasti upravljanja sistemima i prepoznavanju oblika. Veš mašine, klima uređaji, usisivači, navigacioni uređaji, kao i mnogi drugi, dovoljan su dokaz velike rasprostranjenosti i primjenljivosti ove tehnike.

Fuzzy tehnologija je našla i primjenu u informacionim tehnologijama i ekspertskim sistemima, gdje se koristi kao podrška pri odlučivanju.

U teoriji klasičnih, jasnih skupova, pripadnost elementa skupu je krajnje distinktna. Fuzzy skup je, u tom smislu, generalizacija klasičnog skupa, budući da se pripadnost (tj. stepen pripadnosti) elementa fazi skupu može okarakterisati brojem iz intervala $[0,1]$. Drugim riječima, *funkcija pripadnosti* (eng. *membership function*) fuzzy skupa preslikava svaki element univerzalnog skupa u pomenuti interval realnih brojeva. Klasični skupovi uvijek imaju jedinstvenu funkciju pripadnosti, dok se za fuzzy skup može definisati beskonačno mnogo različitih funkcija pripadnosti kojima se on može opisati.

Osnovna razlika između fuzzy logike i teorije vjerovatnoće sastoji se u tome da fuzzy logika operiše sa determinističkim nedorečenostima i neodređenostima, dok se vjerovatnoća bavi vjerodostojnošću stohastičkih događaja i iza nje suštinski stoji eksperiment.

Klasičan skup predstavlja kolekciju različitih objekata. Definisan je tako da dijeli sve elemente univerzalnog skupa u dvije kategorije: svoje članove i one koji to nisu. Svaki klasičan, crisp (jasan) skup se može definisati preko takozvane karakteristične funkcije:

$$\mu_A = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (5.27)$$

Fuzzy skup \tilde{A}^1 skupa X može se definisati kao skup uređenih parova (Sremac, 2013.):

¹ Fuzzy skup \tilde{A} ustvari predstavlja fuzzy podskup skupa A . U daljem radu će se zadržati naziv fuzzy skup obzirom na to da se u praksi češće koristi, vodeći računa o tome da se radi samo o jednom preslikavanju definisanom na skupu A .

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (5.28)$$

Gdje je X skup razmatranja na kojem je definisan fuzzy skup A , a $\mu_A(x)$ je funkcija pripadnosti elementa x skupu A . Fuzzy logika uvodi pojam funkcije pripadnosti koja se interpretira kao stepen istinitosti tvrdnje i na taj način je "bliže" povezana sa problemima i događajima iz svakodnevnog života.

Svaki fuzzy skup je u potpunosti određen svojom funkcijom pripadnosti koja predstavlja stepen pripadanja elemenata x fuzzy skupu A :

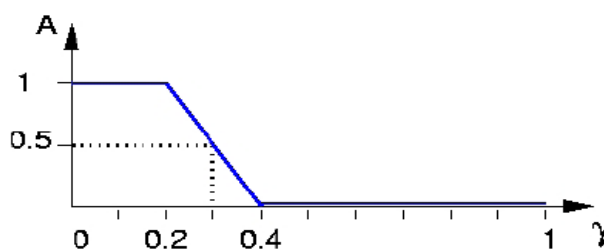
$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1] \quad (5.29)$$

Fuzzy brojevi se definišu kao konveksni normalizovani fuzzy skupovi. Fuzzy skup je normalizovan ako bar jedan element pripada tom skupu sa stepenom pripadnosti 1. Skup A je konveksan fuzzy skup ukoliko je:

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \mu_A(x_1) \wedge \mu_A(x_2), \text{ za } x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1] \quad (5.30)$$

Fuzzy logika obezbjeđuje drugačiji pristup kontrole i klasifikacije problema. Ovaj metod se fokusira na to šta sistem treba da radi, a ne modelira način rada. Takođe, fuzzy logika se može koncentrisati na rješavanje problema, a ne na matematičko modeliranje sistema, čak i kada je moguće. Sa druge strane, fuzzy pristup zahtjeva ekspertsko znanje za formulisanje baze pravila, kombinacije fuzzy skupova i defazifikaciju. Uopšteno, upotreba fuzzy logike može biti korisna, za vrlo složene procese, kada nemamo jednostavan matematički model, za vrlo nelinearne procese ili ako treba da bude izvršeno procesiranje (lingvističko formulisanje) ekspertskog znanja. Upotreba fuzzy logike nije preporučljiva, ako konvencionalni pristup daje zadovoljavajuće rezultate, lako riješiv i adekvatan matematički model već postoji, ili problem nije riješiv.

Osnovni element fuzzy logike je fuzzy skup kojim možemo predstaviti svaku aktivnost u tehnološkom procesu. Prikaz karakteristične funkcije fuzzy skupa je dat na slici 5.10.



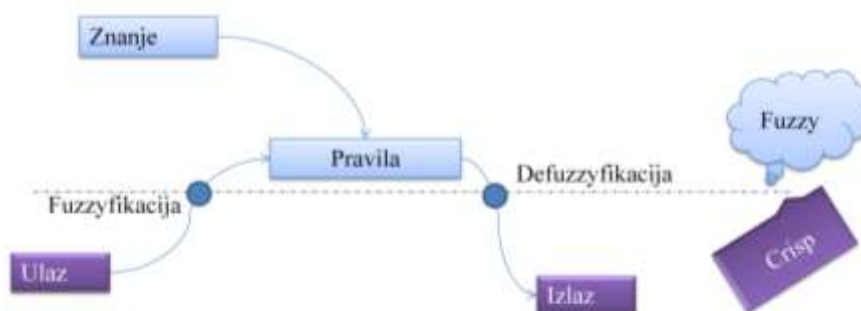
Slika 5.10. Karakteristična funkcija fuzzy skupa

Fuzzy upravljanje obezbjeđuje formalnu metodologiju za predstavljanje, manipulaciju i implementaciju ljudskog heurističkog predznanja o tome kako kontrolisati jedan, određeni sistem. Ovo ne isključuje razvoj modela procesa jer nam je ovaj model u svakom slučaju potreban za detaljnu simulaciju ponašanja kontrolera u cilju ispitivanja zadovoljenja performansi, stabilnosti sistema kao i za ispitivanje krajnjih ograničenja samog dizajna. Cilj fuzzy pristupa je da, umjesto da jezikom matematike pokuša da što bolje riješi problem

upravljanja sistemom, omogući implementaciju inženjerskog iskustva o procesu u sam algoritam kontrolera.

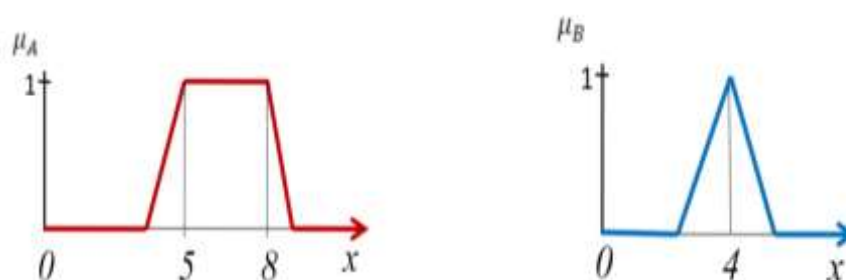
Proces korišćenja Fuzzy sistema obuhvata sljedeće faze (slika 5.11.):

- **Fazifikacija** naprosto modifikuje signale ulaza tako da mogu biti pravilno protumačeni i upoređeni sa pravilima u bazi pravila. Crisp signal pretvaramo u adekvatan fuzzy oblik.
- **Zaključivanje** na osnovu pravila je mehanizam za procjenjivanje koja kontrolna pravila su relevantna za trenutno stanje sistema i odlučuje logičkim sklopom kakav će biti upravljački signal, tj. ulaz u proces.
- **Defazifikacija** transformiše fuzzy oblik u crisp oblik signala, koji je „razumljiv“ procesu

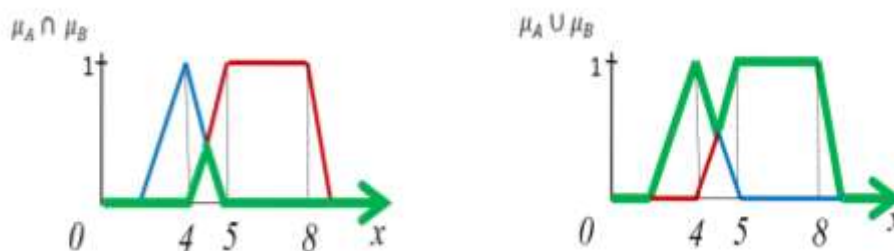


Slika 5.11. Struktura fuzzy sistema

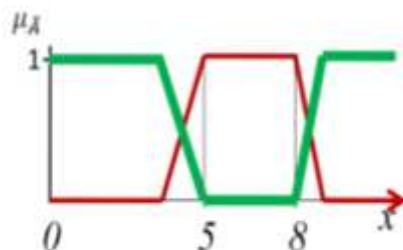
Sa fuzzy skupovima možemo vršiti osnovne operacije kao što su unija (logički operator ILI), presjek (logički operator I) i negacija. Na primjer, ako je A fuzzy interval između 5 i 8 i V fuzzy broj oko 4 (slika 5.12.). Logički operator **I** je kod fuzzy skupova definisan kao funkcija \min : $\mu_1 \wedge \mu_2 = \min\{\mu_1, \mu_2\}$, a logički operator **ILI** definisan je kao funkcija \max : $\mu_1 \vee \mu_2 = \max\{\mu_1, \mu_2\}$. Negacija je kod fuzzy skupova definisana kao $\bar{\mu}_1 = 1 - \mu_1$. Operacije sa fuzzy skupovima prikazane su na slikama 5.13. i 5.14.



Slika 5.12. Primjer fuzzy skupova



Slika 5.13. Fuzzy I i fuzzy ILI



Slika 5.14. Fuzzy NEGACIJA

Ekspertsko znanje je upotrebljivo i može biti korišćeno na prirodan način kao lingvističke promjenljive, koje su opisane fuzzy skupovima. Ekspertsko znanje o promjenljivama može biti formulirano kao pravilo, kao što je, na primjer:

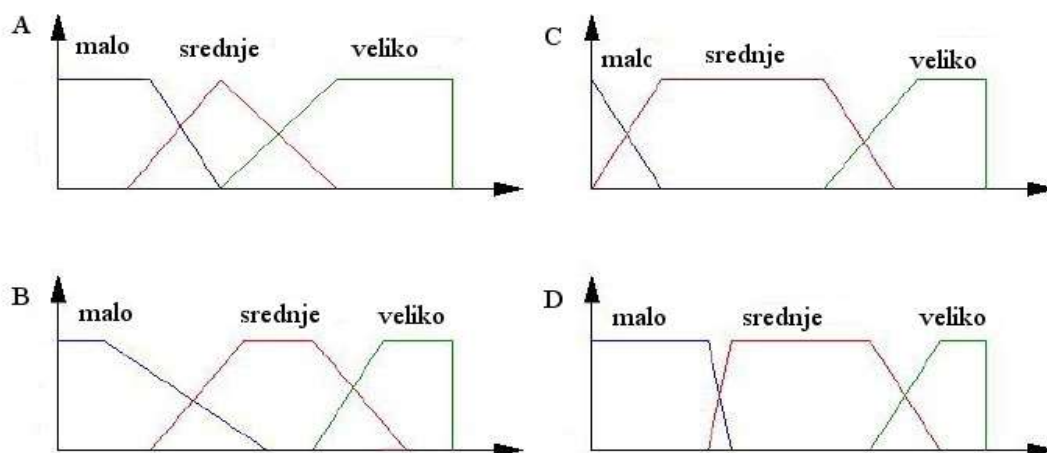
AKO je vrijednost *A* mala **I** vrijednost *V* srednja **ili** vrijednost *S* srednja **I** vrijednost *D* srednja **ONDA** Scenario = scenario 4.

Pravila mogu da se kombinuju čime se dobija baza pravila (tabela 5.11).

Tabela 5.11. Primjer za bazu fuzzy pravila

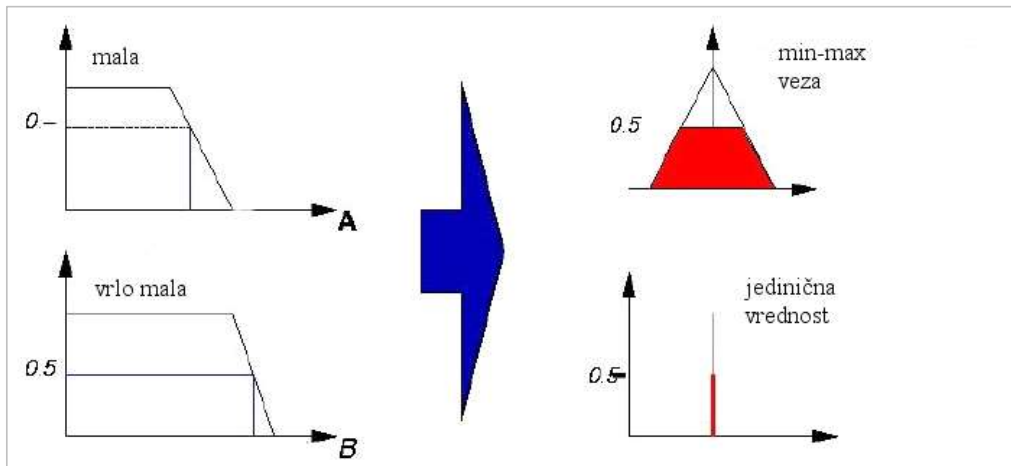
Pravilo	Vrijednost <i>A</i>	Vrijednost <i>V</i>	Vrijednost <i>S</i>	Vrijednost <i>D</i>	Scenario
1	mala	srednja	srednja	srednja	Scenario 1
2	srednja	velika	srednja	mala	Scenario 2
3	mala	velika	srednja	velika	Scenario 3
4	mala	velika	srednja	velika	Scenario 4
5	srednja	srednja	srednja	srednja	Scenario 5
...
n	mala	velika	srednja	mala	Scenario n

Lingvistička pravila, koja opisuju kontrolni sistem, sadrže dva dijela: uzročni dio (između **AKO** i **ONDA**) i posljedični dio (poslije **ONDA**). Imajući u vidu sistem, nije neophodna svaka kombinacija svakog mogućeg ulaza, pošto se neki slučajevi nikako, a neki rijetko događaju. Nekoliko pravila se može ocijeniti, pojednostavljujući logiku procesiranja i možda čak poboljšanje učinka fuzzy logičkog sistema (slika 5.15).



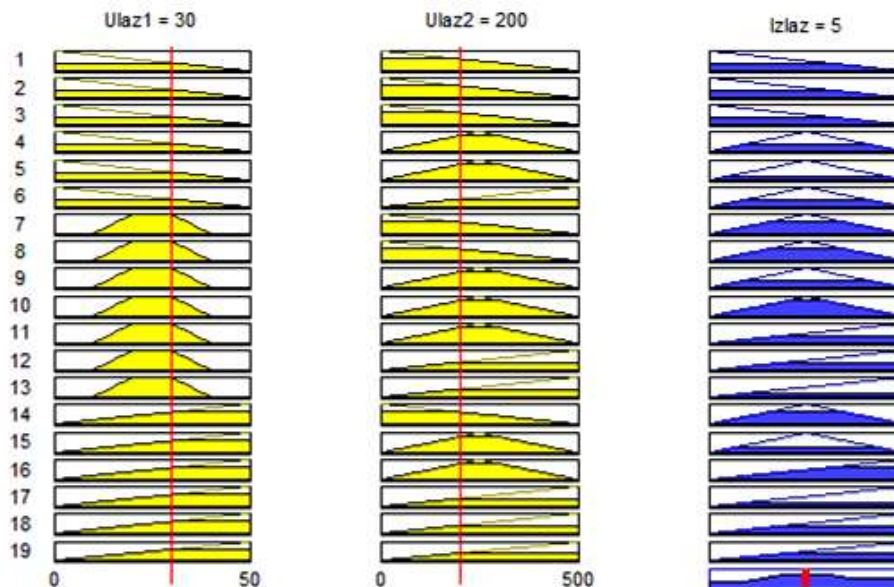
Slika 5.15. Primjer lingvističkih promjenljivih

Ulazi se kombinuju, logički, korišćenjem **I** operatora da se izvedu izlazne vrijednosti za sve očekivane ulaze. Zaključci se onda kombinuju sa logičkim zbirom svih funkcija pripadnosti. Vrijednost funkcije pripadnosti za svaki izlaz se proračuna. Sve što ostaje je da se kombinuju ovi logički skupovi u procesu defazifikacije kako bi se dobio crisp izlaz. Na primjer, za ulazni par $A = 0,35$ i $B = 30$ prikaz slijedi na sljedećoj slici 5.16..



Slika 5.16. Povezanost za pravilo **AKO V** vrlo mala **I A** mala **ONDA** Scenario = scenario 1

Fuzzy izlazi za sva pravila se konačno skupljaju u jedan fuzzy skup. Da bi dobili crisp odluku iz ovog fuzzy izlaza, moramo da defazifikujemo fuzzy skup ili skup jediničnih vrijednosti. Stoga, moramo izabrati jednu reprezentativnu vrijednost kao konačni izlaz (slika 5.17).

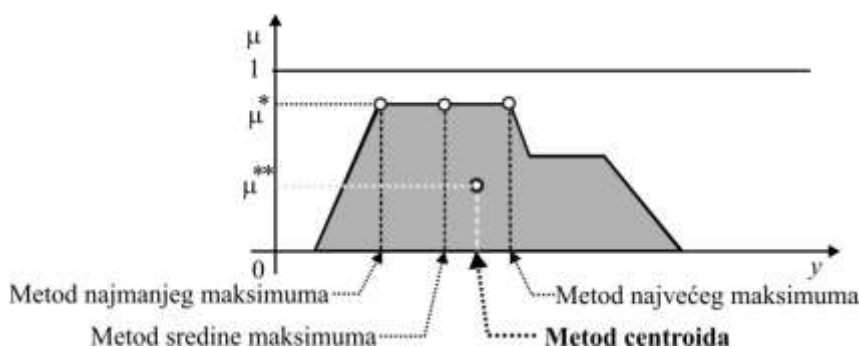


Slika 5.17. Defazifikacija fuzzy modela

U skladu sa usvojenim značenjem fuzzy skupa, čini se da bi najprirodnije bilo da se odabere ona brojna vrijednost za koju promjenljiva ima najveću funkciju pripadnosti. Problem nastaje ukoliko postoji više tačaka fuzzy skupa koje imaju istu maksimalnu vrijednost ili ukoliko postoji cio segment sa istom maksimalnom vrijednošću. U nastojanju da se prevaziđu navedeni problemi predloženo je nekoliko postupaka defazifikacije (slika 5.18):

- ✓ metod centroida (*centroid*),

- ✓ metod sredine maksimuma (*middle of maximum*),
- ✓ metod najvećeg maksimuma (*largest of maximum*) i
- ✓ metod najmanjeg maksimuma (*smallest of maximum*).



Slika 5.18. Metodi defazifikacije

Osnovni metod defazifikacije primjenjen u disertaciji je metod centroida (*Center Of Gravity – COG*). Po ovoj metodi vrijednost zaključivanja je vrijednost težišta površine ograničene funkcijom pripadnosti koja je dobijena fuzzy zaključivanjem. Izlazna vrijednost x^* se izračunava:

$$x^* = \frac{\sum_{i=x_{\min}}^{x_{\max}} x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=x_{\min}}^{x_{\max}} \mu(x_i)} \quad (5.31)$$

Gdje je $\mu(x_i)$ funkcija pripadnosti.

5.2.2. FUZZY MODEL ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

Nastupom liberalizacije transportnog tržišta željeznički operateri primorani su ponašati se kao i sva druga savremena preduzeća na drugim tržištima i u drugim industrijama, što znači da moraju konstantno razvijati i održavati konkurentske prednosti, odnosno da budu bolja od drugih. U današnjim konkurentski vrlo intenzivnim uslovima to je i najteže postići. Da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da bi mogli da razvijaju i održavaju konkurentske prednosti moraju da posluju efikasno i efektivno.

Fuzzy logika, kao dio fuzzy sistema, koristi se kao alat koji preslikava ulaze u izlaze, a analitičke relacije između ulaza i izlaza nisu neophodne. Koristeći osobinu Fuzzy logike u ovom radu razvijene su grupe modela za ocjenu obima rada željezničkih operatera i ocjenu pojedinačne efikasnosti i efektivnosti.

Prilikom razvoja modela za ocjenu obima rada korišćeni su prethodno izabrani kriterijumi, odnosno ulazi i izlazi za model. Izbor ulaza i izlaza za model predstavlja veoma važan korak koji direktno utiče na rezultate modela. S tim razlogom izbor ulaza i izlaza definisan je metodom FAHP (poglavlje 4.6.).

U prvoj fazi razvijeni su modeli za ocjenu obima rada, a nakon toga modeli za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera.

Modeli predloženi u ovom radu razvijeni su na način koji do sada u literaturi nije korišćen. Dalja verifikacija modela mora se bazirati na testiranju modela na željezničkim operaterima. Predloženi model je testiran i verifikovan kroz istraživanje sprovedeno na uzorku željezničkog operatera u BiH.

A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

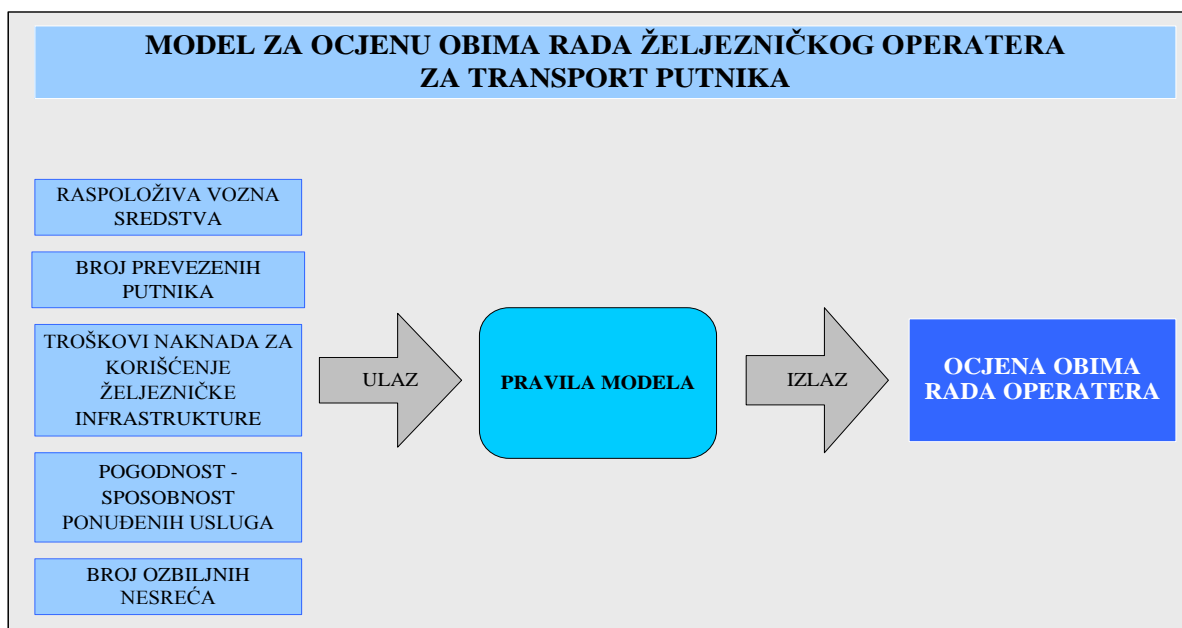
Kod ocjene obima rada željezničkih operatera za transport putnika definisani su fuzzy ulazni i izlazni parametri. Fuzzy ulazni parametri su raspoloživi broj vozni sredstava, broj prevezenih putnika, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, pogodnost - sposobnost ponudjenih usluga i broj ozbiljnih nesreća. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje rad željezničkog operatera.

Osnovna sredstva željezničkih operatera koja imaju funkciju sredstava rada u procesu proizvodnje transportnih usluga su vozna sredstva. Vozna sredstva obuhvataju vučna sredstva, odnosno lokomotive i druga sredstva sa sopstvenim pogonom i vučena sredstva, odnosno sve vrste kola za transport putnika i transport robe. Za željezničkog operatera od posebnog je značaja postići optimalan kapacitet koji podrazumjeva takvo korišćenje vozni sredstava kojim će se postići relativno najpovoljniji odnos između trošenja njihovih upotrebnih svojstava, s jedne, i njihovog proizvodnog učinka, s druge strane.

Pokazatelji proizvodnog zadatka, transporta putnika kao osnovne djelatnosti željezničkog operatera za transport putnika izražava se kroz broj prevezenih putnika. Operater transportom putnika ubire određene prihode preko kriterijuma koji daju mogućnost sagledavanja količine izvršenog rada. Troškovima naknada za korišćenje željezničke infrastrukture se direktno utiče na stanje željezničkog operatera na transportnom tržištu. Kada je domaći operater/operateri u stanju da pruže odgovarajući nivo kvaliteta transportne usluge, visokim naknadama se destimuliše konkurencija na željezničkom tržištu. Ukoliko su naknade visoke neće postojati interes privatnog sektora za uvođenje novih operatera. Takođe ni strani operateri neće dolaziti u države i na željeznice gdje su ove naknade visoke.

Broj ozbiljnih nesreća kao ulazni pokazatelj za model je veoma bitan za ocjenu obima rada željezničkog operatera jer utiče na veličinu transporta putnika i prihode, a utiče i na ocjenu obima rada operatera, tim što se željezničkim nesrećama, oštećuju i uništavaju sredstva rada velike vrijednosti, prouzrokuju velike materijalne štete i prekidi saobraćaja.

Na slici 5.19. dat je prikaz izgleda strukture modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport putnika .



Slika 5.19. Izgled strukture modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport putnika

B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

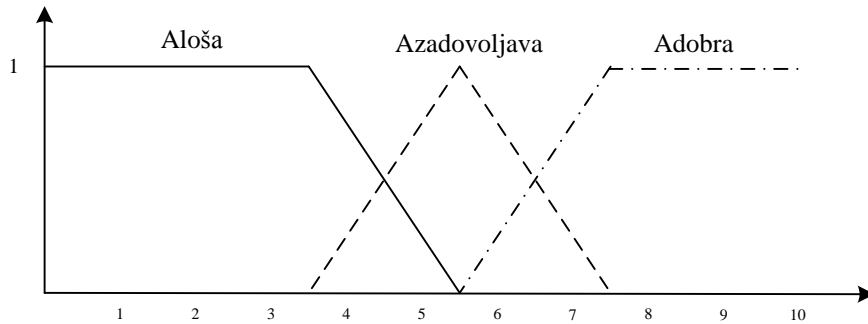
U modelu za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport putnika definisana je fuzzy izlazna promjenljiva A i fuzzy ulazne promjenljive: B, C, D, E i F. Fuzzy izlazna promjenljiva A procjenjuje ocjenu obima rada operatera. Pretpostavljeno je da ocjena može biti: "LOŠA", "ZADOVOLJAVAJUĆA" ili "DOBRA", a da je kvantifikacija ocjene od 1 do 10. Definisane su funkcije pripadnosti (5.32) i (5.33) na sljedeći način:

Loša	$\leq 3,5$
Zadovoljavajuća	3,5 do 7,5
Dobra	$\geq 7,5$

$$\mu_{A_L}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(7-2x)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ 0, & x \geq \frac{11}{2} \end{cases} \quad \mu_{A_Z}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(2x-7)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(15-2x)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.32)$$

$$\mu_{A_D}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(2x-11)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.33)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova $A_{LOŠA}$, $A_{ZADOVOLJAVAJUĆA}$ i A_{DOBRA} prikazane su na slici 5.20.



Slika 5.20. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova A_L , A_Z i A_D

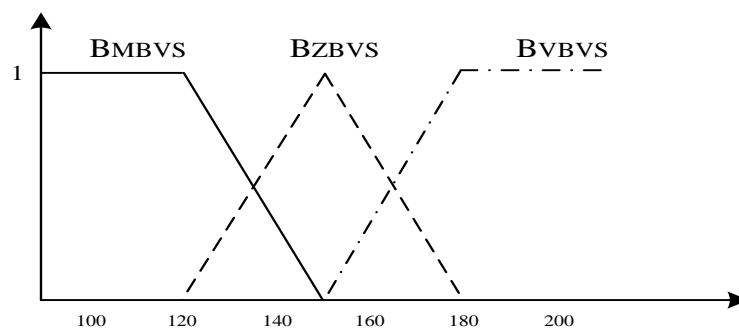
Fuzzy ulazna promjenljiva B je raspoloživi broj voznih sredstava. Pretpostavljeno je da broj voznih sredstava može biti: "MALI" (MBVS), "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZBVS) ili "VELIKI" (VBVS), a da je kvantifikacija ocjene od 120 do 180 voznih sredstava. Definisane su funkcije pripadnosti (5.34) i (5.35) na sljedeći način:

Mali	≤ 120
Zadovoljavajući	120 do 180
Veliki	≥ 180

$$\mu_{B_{MBVS}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 120 \\ \frac{(150-x)}{30}, & 120 \leq x \leq 150 \\ 0, & x \geq 150 \end{cases} \quad \mu_{B_{ZBVS}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 120 \\ \frac{x-120}{30}, & 120 \leq x \leq 150 \\ \frac{180-x}{30}, & 150 \leq x \leq 180 \\ 1, & x \geq 180 \end{cases} \quad (5.34)$$

$$\mu_{B_{VBVS}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 150 \\ \frac{(x-150)}{30}, & 150 \leq x \leq 180 \\ 1, & x \geq 180 \end{cases} \quad (5.35)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova B_{MBVS} , B_{ZBVS} i B_{VBVS} prikazane su na slici 5.21.



Slika 5.21. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova B_{MBVS} , B_{ZBVS} i B_{VBVS}

Fuzzy ulazna promjenljiva C opisuje ostvareni rad operatera preko broja prevezenih putnika. Pretpostavljeno je da broj prevezenih putnika može biti: "MALI" (MBPP), "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZBPP) ili "VELIKI" (VBPP), a da je kvantifikacija ocjene od 300 do 700 hiljada prevezenih putnika. Definisane su funkcije pripadnosti (5.36), (5.37) i (5.38.) na sljedeći način:

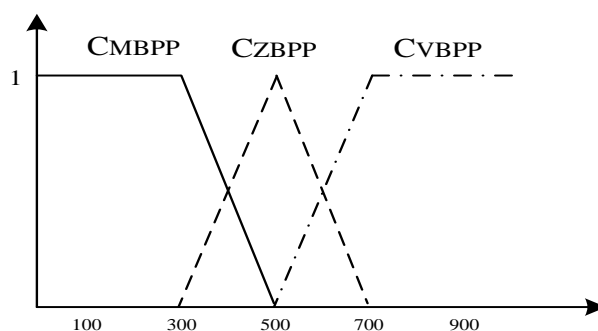
Mali	≤ 300.000
Zadovoljavajući	300.000 do 700.000
Veliki	≥ 700.000

$$\mu_{C_{MBPP}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 300.000 \\ \frac{(500.000 - x)}{200.000}, & 300.000 \leq x \leq 500.000 \\ 0, & x \geq 500.000 \end{cases} \quad (5.36)$$

$$\mu_{C_{ZBPP}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 300.000 \\ \frac{x - 300.000}{200.000}, & 300.000 \leq x \leq 500.000 \\ \frac{700.000 - x}{200.000}, & 500.000 \leq x \leq 700.000 \\ 0, & x \geq 700.000 \end{cases} \quad (5.37)$$

$$\mu_{C_{VBPP}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 500.000 \\ \frac{(x - 500.000)}{200.000}, & 500.000 \leq x \leq 700.000 \\ 1, & x \geq 700.000 \end{cases} \quad (5.38)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova C_{MBPP} , C_{ZBPP} i C_{VBPP} prikazane su na slici 5.22.



Slika 5.22. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova C_{MBPP} , C_{ZBPP} i C_{VBPP}

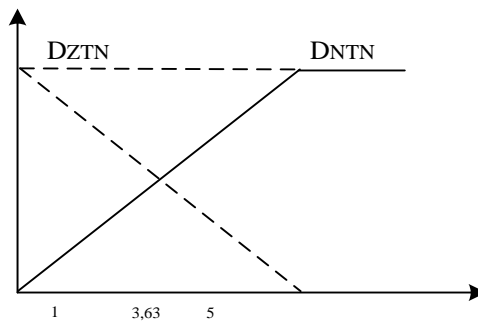
Fuzzy ulazna promjenljiva D opisuje troškove naknada za korišćenje željezničke infrastrukture. Pretpostavljeno je da ovi troškovi koji oličavaju troškove poslovanja operatera mogu da budu: "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZTN), ili "NEZADOVOLJAVAJUĆI" (NTN). Definisane su funkcije pripadnosti (5.39) na sljedeći način:

Zadovoljavajući troškovi naknada	$< 3,63 \text{ KM}$
Nezadovoljavajući troškovi naknada	$\geq 3,63 \text{ KM}$

$$\mu_{D_{ZTN}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(7,26 - x)}{7,26}, & 0 \leq x \leq 7,26 \\ 0, & x \geq 7,26 \end{cases} \quad (5.39)$$

$$\mu_{D_{NTN}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{7,26}, & 0 \leq x \leq 7,26 \\ 1, & x \geq 7,26 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova D_{ZTN} , i D_{NTN} prikazane su na slici 5.23.



Slika 5.23. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: D_{ZTN} , i D_{NTN} .

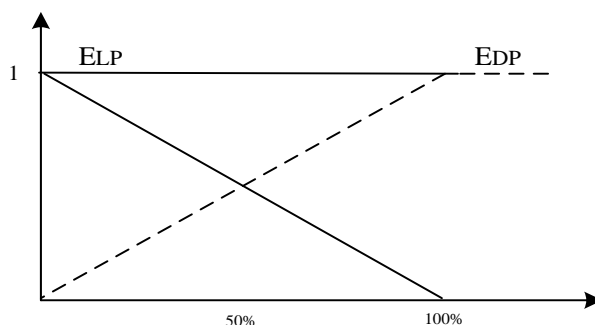
Fuzzy ulazna promjenljiva E predstavlja pogodnost – sposobnost ponuđenih usluga. Ovaj parametar predstavlja značajnu ocjenu kvaliteta usluge. Pretpostavljeno je da može da bude: "LOŠA" (LP) ili "DOBRA" (DP). Definisane su funkcije pripadnosti (5.40.) na sljedeći način:

Loša pogodnost < 50%
 Dobra pogodnost ≥ 50%

$$\mu_{E_{LB}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{100 - x}{100}, & 0 \leq x \leq 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases} \quad (5.40)$$

$$\mu_{E_{DB}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{100}, & 0 \leq x \leq 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova E_{LP} i E_{DP} prikazane su na slici 5.24.



Slika 5.24. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: E_{LP} i E_{DP} .

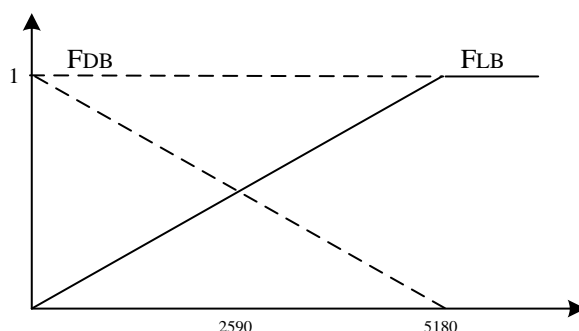
Fuzzy ulazna promjenljiva F predstavlja broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru. Ovaj parametar predstavlja značajnu ocjenu kvaliteta usluge jer je bezbjednost jedan od najznačajnijih elemenata kvaliteta. Na osnovu standarda koje je propisala Evropska komisija u vezi bezbjednosti pretpostavljeno je da nivo bezbjednosti može da bude: "LOŠ" (LB) ili "DOBAR" (DB). Definisane su funkcije pripadnosti (5.41) na sljedeći način:

Loša bezbjednost ≥ 2590 nesreća/ 10^9 voznih km
 Dobra bezbjednost < 2590 nesreća/ 10^9 voznih km

$$\mu_{F_{LB}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{5180}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 1, & x \geq 5180 \end{cases} \quad (5.41)$$

$$\mu_{F_{DB}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(5180 - x)}{2590}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 0, & x \geq 5180 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova F_{LB} i F_{DB} prikazane su na slici 5.25.



Slika 5.25. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova F_{LB} i F_{DB}

Fuzzy logika je osnova fuzzy sistema. Omogućava donošenje odluka na osnovu nepotpunih informacija, a modeli zasnovani na fuzzy logici se sastoje od tzv. "IF-THEN"² pravila. "IF-THEN" pravila međusobno se povezuju sa "ELSE" ili "AND". Fuzzy logika definiše se pomoću algoritama za aproksimativno rezonovanje.

² "AKO-ONDA" (Prev.)

Neka je $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ vektor (ulazna promjenjiva) koji opisuje karakteristiku određenog objekta (na primjer: raspoloživi broj voznih sredstava) i vektor $y = [y_1, y_2, \dots, y_m]$ izlazna veličina, koja daje vrijednosti posmatranog sistema (npr. obim rada željezničkog operatera za transport putnika). Pravila aproksimativnog rezonovanja u fuzzy modelima imaju sljedeći oblik:

$R^r : IF x_1 \text{ is } A_1^r \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^r \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_n^r \text{ THEN } y_1 \text{ is } B_1^r, y_2 \text{ is } B_2^r, \dots, y_m \text{ is } B_m^r$, gdje je $x \in X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, $y \in Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m$ i $A^r = A_1^r \times A_2^r \times \dots \times A_n^r \subseteq X$, $B^r = B_1^r \times B_2^r \times \dots \times B_m^r \subseteq Y$ a A_i vrijednost vektora x_i i B_i vrijednost vektora y_i kod pravila r . Poseban značaj fuzzy logike je mogućnost njene primjene za modeliranje složenih sistema u kojima se veoma teško može utvrditi povezanost pojedinih promjenljivih koje postoje u modelu.

U fuzzy modelu za evaluaciju ocjene obima rada željezničkih operatera za transport putnika pravilima koja su jednako vjerovatna dodijeljen je težinski faktor 1, manje vjerovatnim 0,5 a praktično nevjerovatnim 0.

Algoritam aproksimativnog rezonovanja za ocjenu obima rada željezničkih operatera za transport putnika, razvijen u ovom radu, sastoji se od sljedećih fuzzy pravila:

I. Raspoloživih broj voznih sredstava "MALI" ≤ 120

Broj prevezenih putnika MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
Broj prevezenih putnika ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
Broj prevezenih putnika VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	0.5

II. Raspoloživih broj voznih sredstava "ZADOVOLJAVAJUĆI" 120 do 180

Broj prevezenih putnika MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
Broj prevezenih putnika ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	0.5
Broj prevezenih putnika VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1

III. Raspoloživih broj voznih sredstava "VELIKI" ≥ 180

Broj prevezenih putnika MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
Broj prevezenih putnika ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBAR	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5

NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	0.5
Broj prevezenih putnika VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1

Rezultati i analiza rezultata testiranja modela na realnom primjeru željezničkog operatera ŽRS predstavljani su u poglavlju 6.3. ove disertacije.

5.2.3. FUZZY MODEL ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE

A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

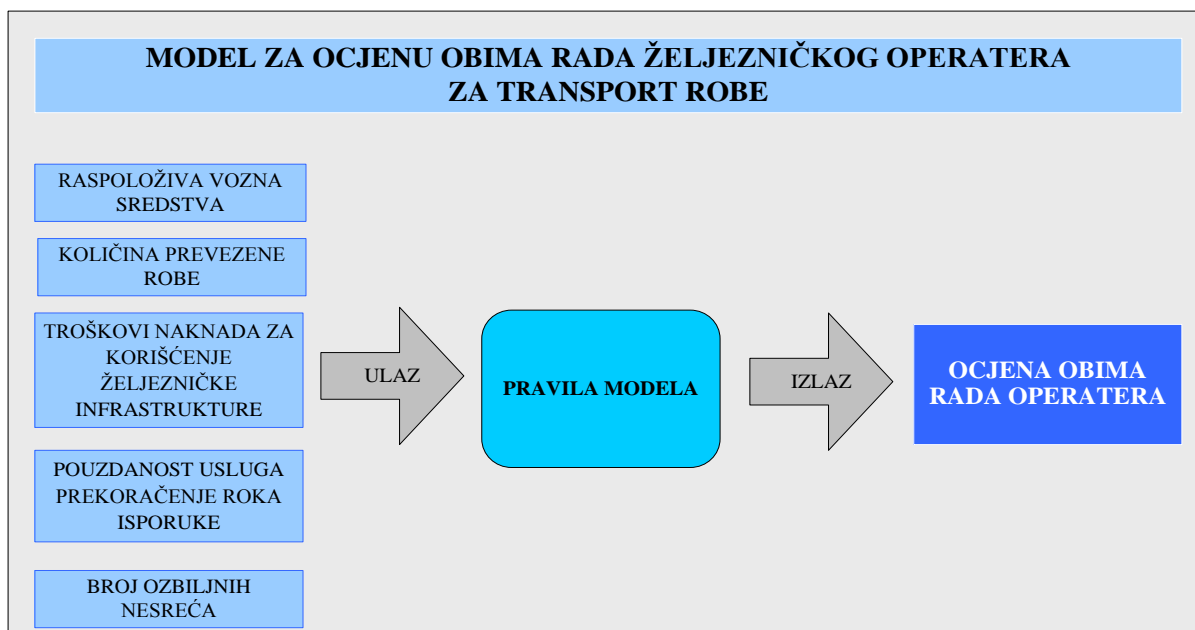
Kod razvoja modela za ocjenu obima rada željezničkih operatera za transport robe definisani su fuzzy ulazni i izlazni parametri.

Fuzzy ulazni parametri su raspoloživi broj vozniha sredstava (broj lokomotiva i teretnih kola), količina prevezena roba, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, pouzdanost (prekoračenje roka isporuke) i broj ozbiljnih nesreća. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje obim rada željezničkog operatera za transport robe.

U prethodno razvijenom modelu su opisani kriterijumi koji su također ulazi i za model ocjene obima rada operatera za transport robe osim kriterijuma pouzdanost – prekoračenje roka isporuke koji je za ovaj model od strane eksperata imao veći značaj od ponuđenih kriterijuma iz grupe kvaliteta usluge za ocjenu obima rada operatera za transport robe.

Pouzdanost usluge željezničkog operatera izražava se kroz mjeru tačnosti vozova. Tačnost vozova se odnosi na devijacije u redom vožnje predviđenim vremenima otpreme i prispijeća vozova.

Na slici 5.26. dat je prikaz izgleda strukture modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport robe.



Slika 5.26. Izgled strukture modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport robe

Predloženi model je testiran i verifikovan kroz istraživanje sprovedeno na uzorku željezničkog operatera u BiH.

B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

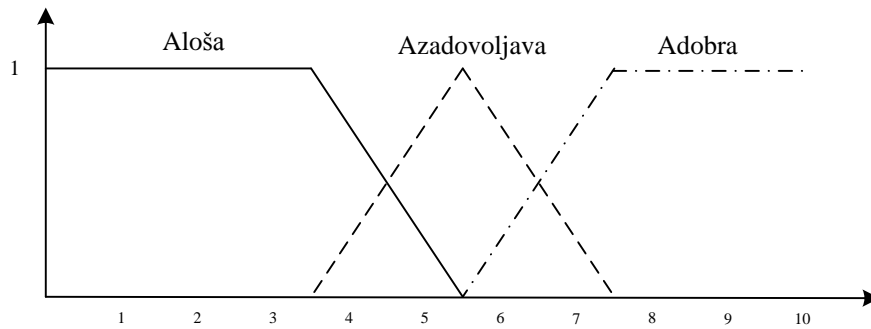
U modelu za ocjenu obima rada operatera za transport robe definisana je fuzzy izlazna promjenljiva A i fuzzy ulazne promjenljive: B, C, D, E i F. Fuzzy izlazna promjenljiva A procjenjuje ocjenu obima rada operatera. Pretpostavljeno je da ocjena može biti: "LOŠA", "ZADOVOLJAVAJUĆA" ili "DOBRA", a da je kvantifikacija ocjene od 1 do 10. Definisane su funkcije pripadnosti (5.42.) i (5.43.) na sljedeći način:

Loša $\leq 3,5$
 Zadovoljavajuća 3,5 do 7,5
 Dobra $\geq 7,5$

$$\mu_{A_L}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(7-2x)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ 0, & x \geq \frac{11}{2} \end{cases} \quad \mu_{A_Z}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(2x-7)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(15-2x)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.42)$$

$$\mu_{A_D}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(2x-11)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.43)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova $A_{LOŠA}$, $A_{ZADOVOLJAVAJUĆA}$ i A_{DOBRA} prikazane su na slici 5.27.



Slika 5.27. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova A_L , A_Z i A_D

Fuzzy ulazna promjenljiva B raspoloživi broj voznih sredstava Pretpostavljeno je da broj voznih sredstava može biti: "MALI" (MBVS), "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZBVS) ili "VELIKI" (VBVS), a da je kvantifikacija ocjene od 2000 do 4000 voznih sredstava. Definisane su funkcije pripadnosti (5.44), (5.45) i (5.46) na sljedeći način:

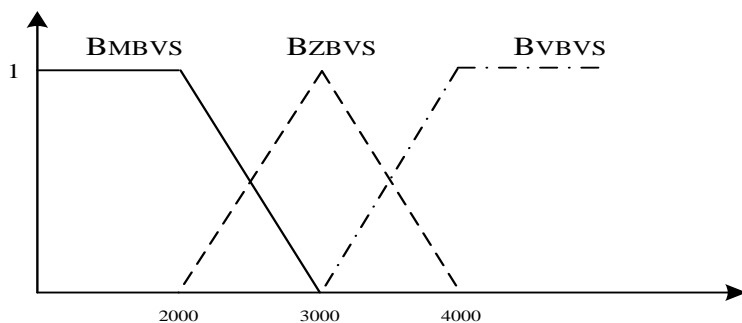
Mali	≤ 2000
Zadovoljavajući	od 2000 do 4000
Veliki	≥ 4000

$$\mu_{B_{MBVS}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 2000 \\ \frac{(3000 - x)}{1000}, & 2000 \leq x \leq 3000 \\ 0, & x \geq 3000 \end{cases} \quad (5.44)$$

$$\mu_{B_{ZBVS}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2000 \\ \frac{x - 2000}{1000}, & 2000 \leq x \leq 3000 \\ \frac{4000 - x}{1000}, & 3000 \leq x \leq 4000 \\ 0, & x \geq 4000 \end{cases} \quad (5.45)$$

$$\mu_{B_{VBVS}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3000 \\ \frac{(x - 3000)}{1000}, & 3000 \leq x \leq 4000 \\ 1, & x \geq 4000 \end{cases} \quad (5.46)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova B_{MBVS} , B_{ZBVS} i B_{VBVS} prikazane su na slici 5.28.



Slika 5.28. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova B_{MBVS} , B_{ZBVS} i B_{VBVS}

Fuzzy ulazna promjenljiva C opisuje ostvareni rad operatera preko količine prevezene robe. Pretpostavljeno je da broj prevezene robe može biti: "MALI" (MKPR), "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZKPR) ili "VELIKI" (VKPR), a da je kvantifikacija ocjene od 5 miliona do 10 miliona prevezene robe. Definisane su funkcije pripadnosti (5.47), (5.48) i (5.49) na sljedeći način:

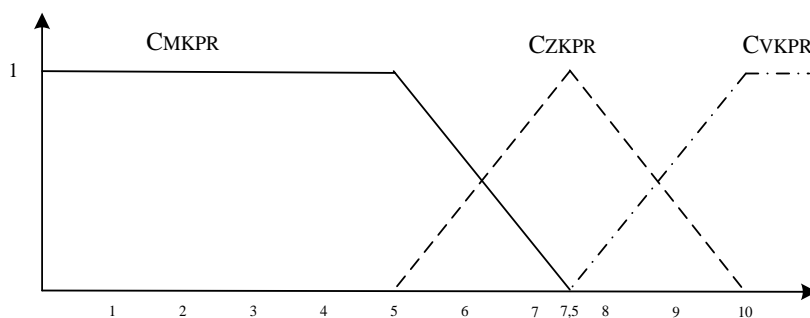
Mali	≤ 5
Zadovoljavajući	5 do 10
Veliki	≥ 10

$$\mu_{C_{MKPR}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 5 \\ \frac{(15-x)}{5}, & 5 \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 0, & x \geq 5 \end{cases} \quad (5.47)$$

$$\mu_{C_{ZKPR}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{2(x-5)}{5}, & 5 \leq x \leq \frac{15}{2} \\ \frac{2(10-x)}{5}, & \frac{15}{2} \leq x \leq 10 \\ 0, & x \geq 10 \end{cases} \quad (5.48)$$

$$\mu_{C_{VKPR}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{15}{2} \\ \frac{(2x-15)}{5}, & \frac{15}{2} \leq x \leq 10 \\ 1, & x \geq 10 \end{cases} \quad (5.49)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova C_{MKPR} , C_{ZKPR} i C_{VKPR} prikazane su na slici 5.29.



Slika 5.29. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova C_{MKPR} , C_{ZKPR} i C_{VKPR}

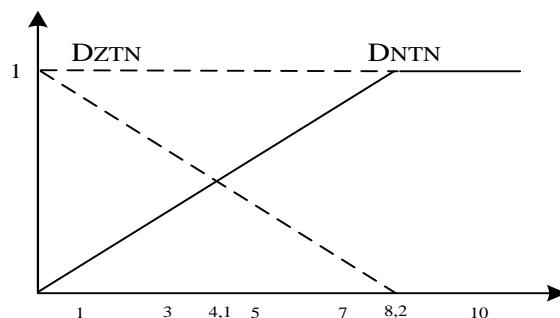
Fuzzy ulazna promjenljiva D opisuje troškove naknada za korišćenje željezničke infrastrukture. Pretpostavljeno je da ovi troškovi koji oličavaju troškove poslovanja operatera mogu da budu: "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZTN), ili "NEZADOVOLJAVAJUĆI" (NTN). Definisane su funkcije pripadnosti (5.50.) na sljedeći način:

Zadovoljavajući troškovi naknada $< 4,1$ KM
 Nezadovoljavajući troškovi naknada $\geq 4,1$ KM

$$\mu_{D_{ZTN}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(8,2 - x)}{8,2}, & 0 \leq x \leq 8,2 \\ 0, & x \geq 8,2 \end{cases} \quad (5.50)$$

$$\mu_{D_{NTN}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{8,2}, & 0 \leq x \leq 8,2 \\ 1, & x \geq 8,2 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova D_{ZTN} , i D_{NTN} prikazane su na slici 5.30.



Slika 5.30. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: D_{ZTN} , i D_{NTN} .

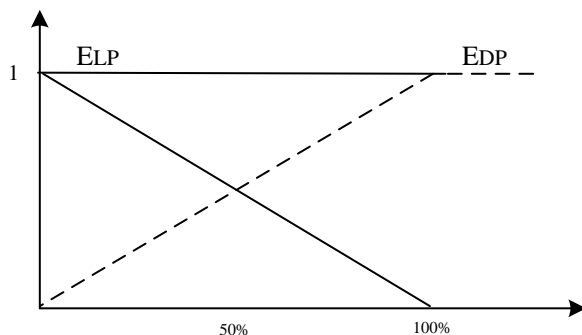
Fuzzy ulazna promjenljiva E predstavlja pouzdanost usluga – prekoračenje roka isporuke. Ovaj parametar predstavlja značajnu ocjenu kvaliteta usluge. Pretpostavljeno je da može da bude: "LOŠA" (LB) ili "DOBRA" (DB). Definisane su funkcije pripadnosti (5.51.) na sljedeći način:

Loša pouzdanost $< 50\%$
 Dobra pouzdanost $\geq 50\%$

$$\mu_{E_{LP}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{100 - x}{100}, & 0 \leq x \leq 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases} \quad (5.51)$$

$$\mu_{E_{DP}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{100}, & 0 \leq x \leq 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova E_{LP} i E_{DP} prikazane su na slici 5.31.



Slika 5.31. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: E_{LP} i E_{DP} .

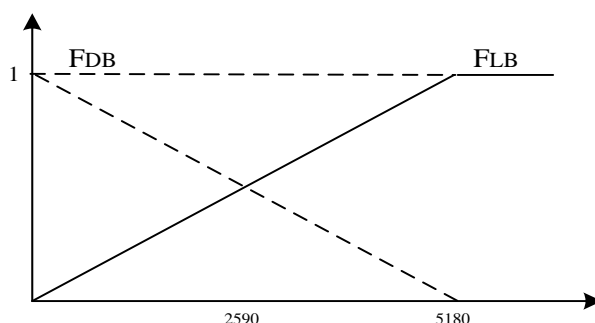
Fuzzy ulazna promjenljiva F predstavlja broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru. Ovaj parametar predstavlja značajnu ocjenu kvaliteta usluge jer je bezbjednost jedan od najznačajnijih elemenata kvaliteta. Na osnovu standarda koje je propisala Evropska komisija u vezi bezbjednosti pretpostavljeno je da nivo bezbjednosti može da bude: "LOŠ" (LB) ili "DOBAR" (DB). Definisane su funkcije pripadnosti (5.52.) na sljedeći način:

Loša bezbjednost ≥ 2590 nesreća/ 10^9 vozni km
 Dobra bezbjednost < 2590 nesreća/ 10^9 vozni km

$$\mu_{F_{LB}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{5180}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 1, & x \geq 5180 \end{cases} \quad (5.52)$$

$$\mu_{F_{DB}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(5180 - x)}{2590}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 0, & x \geq 5180 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova F_{LB} i F_{DB} prikazane su na slici 5.32.



Slika 5.32. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova F_{LB} i F_{DB}

Fuzzy logika je osnova fuzzy sistema. Omogućava donošenje odluka na osnovu nepotpunih informacija, a modeli zasnovani na fuzzy logici se sastoje od tzv. "IF-THEN"³ pravila. "IF-

³ "AKO-ONDA" (Prev.)

THEN" pravila međusobno se povezuju sa "ELSE" ili "AND". Fuzzy logika definiše se pomoću algoritama za aproksimativno rezonovanje.

Neka je $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ vektor (ulazna promjenjiva) koji opisuje karakteristiku određenog objekta (na primjer: raspoloživi broj voznih sredstava) i vektor $y = [y_1, y_2, \dots, y_m]$ izlazna veličina, koja daje vrijednosti posmatranog sistema (npr. obim rada željezničkog operatera za transport robe). Pravila aproksimativnog rezonovanja u fuzzy modelima imaju sljedeći oblik:

$R^r : IF x_1 is A_1^r AND x_2 is A_2^r AND \dots AND x_n is A_n^r THEN y_1 is B_1^r, y_2 is B_2^r, \dots, y_m is B_m^r$, gdje je $x \in X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, $y \in Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m$ i $A^r = A_1^r \times A_2^r \times \dots \times A_n^r \subseteq X$, $B^r = B_1^r \times B_2^r \times \dots \times B_m^r \subseteq Y$ a A_i vrijednost vektora x_i i B_i vrijednost vektora y_i kod pravila r .

Poseban značaj fuzzy logike je mogućnost njene primjene za modeliranje složenih sistema u kojima se veoma teško može utvrditi povezanost pojedinih promjenljivih koje postoje u modelu.

U fuzzy modelu za evaluaciju ocjene obima rada željezničkih operatera za transport putnika pravilima koja su jednako vjerovatna dodijeljen je težinski faktor 1, manje vjerovatnim 0,5 a praktično nevjerovatnim 0.

Algoritam aproksimativnog rezonovanja za ocjenu obima rada željezničkih operatera za transport robe, razvijen u ovom radu, sastoji se od sljedećih fuzzy pravila:

I. Raspoloživih broj voznih sredstava "MALI" ≤ 2000

Količina prevezene robe MALA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
Količina prevezene robe ZADOVOLJAVAJUĆA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
Količina prevezene robe VELIKA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1

NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	0.5

II. Raspoloživih broj voznih sredstava "ZADOVOLJAVAJUĆI" 2000 do 4000

Količina prevezene robe MALA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
Količina prevezene robe ZADOVOLJAVAJUĆA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBAR	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1
Količina prevezene robe VELIKA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1

III. Raspoloživih broj voznih sredstava "VELIKI" ≥ 4000

Količina prevezene robe MALA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1

Količina prevezene robe ZADOVOLJAVAJUĆA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost t	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBAR	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	0.5
Količina prevezene robe VELIKA				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	LOŠA	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	LOŠ	DOBRA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	DOBRA	DOBAR	DOBRA	1

Rezultati i analiza rezultata testiranja modela na realnom primjeru željezničkog operatera ŽRS predstavljani su u poglavlju 6.4. ove disertacije.

5.2.4. FUZZY MODEL ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

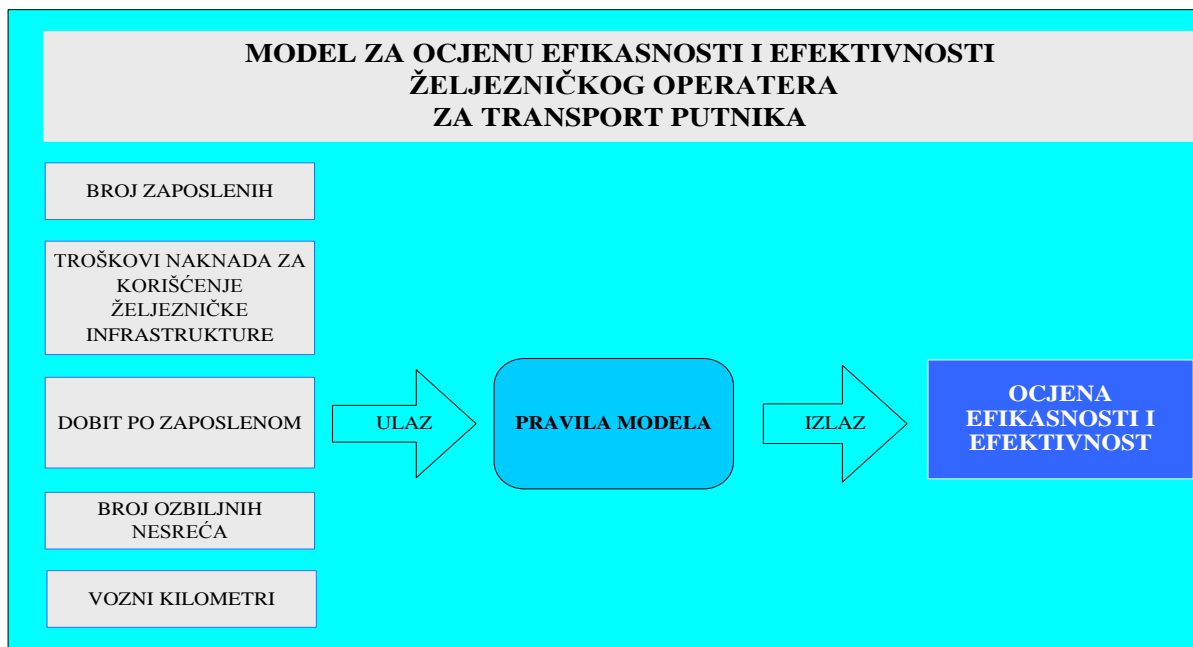
U postupku razvoja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti definisane su grupe kriterijuma i to: kriterijumi resursa (kapaciteta), operativni kriterijumi, finansijski kriterijumi, kvaliteta usluga i bezbjednost koji utiču na efikasnost i efektivnost željezničkog operatera. Metodom FAHP izvršeno je njihovo rangiranje po grupama i za razvoj modela su izabrani oni kriterijumi koji su u svakoj grupi imali prioritet.

Kod razvoja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport putnika Fuzzy ulazni parametri su broj zaposlenih, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, dobit po zaposlenom, broj ozbiljnih nesreća i vozni kilometri. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje efikasnost i efektivnost željezničkog operatera za transport putnika.

Broj zaposlenih je važna komponenta efikasnog poslovanja željezničkih operatera, jer u današnje vrijeme osnovu postizanja konkurentskih prednosti čine niski troškovi. Fiksni i operativni troškovi poslovanja pod sve većim su pritiskom i uglavnom bilježe trendove rasta. Željeznički operateri su po svojoj prirodi radno intenzivna industrija, što znači da jedan od glavnih pokretača troškova predstavlja trošak zaposlenih. Navedena tvrdnja poprima još veću težinu, ako se uzme u obzir činjenica da gotovo sve tranzicijske države, odnosno sistemi njihovih željeznica, imaju vrlo nepovoljnu produktivnost broja zaposlenih.

Kvantitativni kriterijum koji bitno utiče na efikasnost i efektivnost željezničkog operatera su vozni kilometri. Vozni kilometri karakterišu rad lokomotiva i kola (elektro ili dizel motornih garnitura) na jednoj mreži ili po pojedinim prugama (vidi tačku 4.6).

Na slici 5.33. dat je prikaz izgleda strukture modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika.



Slika 5.33. Izgled strukture modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika

Predloženi model je testiran i verifikovan kroz istraživanje sprovedeno na uzorku željezničkog operatera u BiH.

B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

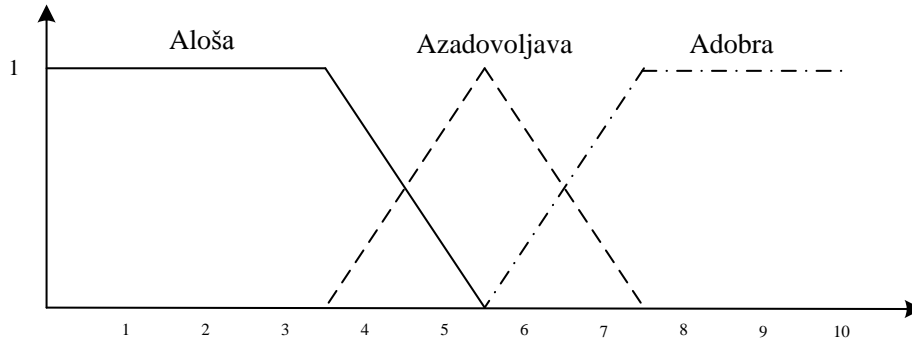
U modelu za ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera za transport putnika definisana je fuzzy izlazna promjenljiva A i fuzzy ulazne promjenljive: B, C, D, E i F. Fuzzy izlazna promjenljiva A procjenjuje ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera. Pretpostavljeno je da ocjena može biti: "LOŠA", "ZADOVOLJAVAJUĆA" ili "DOBRA", a da je kvantifikacija ocjene od 1 do 10. Definisane su funkcije pripadnosti (5.53.) i (5.54.) na sljedeći način:

$$\begin{array}{ll} \text{Loša} & \leq 3,5 \\ \text{Zadovoljavajuća} & 3,5 \text{ do } 7,5 \\ \text{Dobra} & \geq 7,5 \end{array}$$

$$\mu_{A_L}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(7-2x)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ 0, & x \geq \frac{11}{2} \end{cases} \quad \mu_{A_Z}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(2x-7)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(15-2x)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.53)$$

$$\mu_{A_D}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(2x - 11)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.54)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova $A_{LOŠA}$, $A_{ZADOVOLJAVAJUĆA}$ i A_{DOBRA} prikazane su na slici 5.34.



Slika 5.34. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova A_L , A_Z i A_D

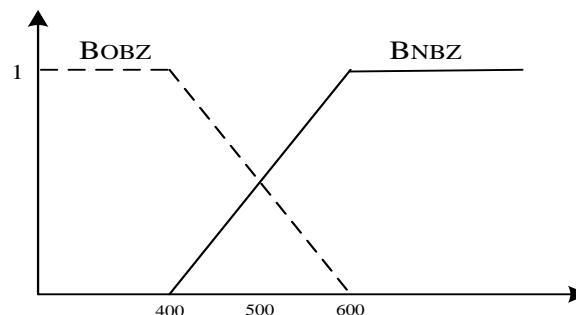
Fuzzy ulazna promjenljiva B opisuje broj zaposlenih, koji može da bude manji ili veći od 500, što predstavlja trenutni broj zaposlenih u sektoru za transport putnika ŽRS. Pretpostavljeno je da može da postoji: "NEODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" (NBZ) ili "ODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" (OBZ). Definisane su funkcije pripadnosti (5.55.) na sljedeći način:

Neodgovarajući broj zaposlenih ≥ 500
 Odgovarajući broj zaposlenih < 500

$$\mu_{B_{NBZ}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 400 \\ \frac{(x - 400)}{200}, & 400 \leq x \leq 600 \\ 1, & x \geq 600 \end{cases} \quad (5.55)$$

$$\mu_{B_{OBZ}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 400 \\ \frac{(600 - x)}{200}, & 400 \leq x \leq 600 \\ 0, & x \geq 600 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova B_{NBZ} i B_{OBZ} prikazane su na slici 5.35.



Slika 5.35. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova B_{NBZ} i B_{OBZ}

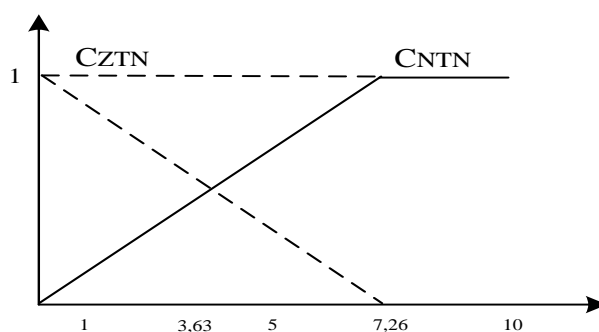
Fuzzy ulazna promjenljiva C opisuje troškove naknada za korišćenje željezničke infrastrukture. Pretpostavljeno je da ovi troškovi koji oličavaju troškove poslovanja operatera mogu da budu: "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZTN), ili "NEZADOVOLJAVAJUĆI" (NTN). Definisane su funkcije pripadnosti (5.56) na sljedeći način:

Zadovoljavajući troškovi naknada < 3,63 KM
 Nezadovoljavajući troškovi naknada ≥ 3,63 KM

$$\mu_{C_{ZTN}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(7,26 - x)}{7,26}, & 0 \leq x \leq 7,26 \\ 0, & x \geq 7,26 \end{cases} \quad (5.56)$$

$$\mu_{C_{NTN}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{7,26}, & 0 \leq x \leq 7,26 \\ 1, & x \geq 7,26 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova C_{ZTN} , i C_{NTN} prikazane su na slici 5.36.



Slika 5.36. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: C_{ZTN} i C_{NTN} .

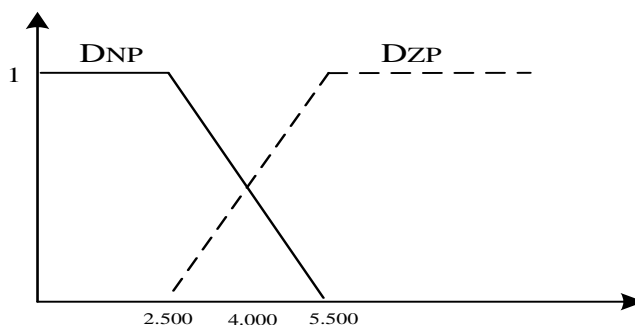
Fuzzy ulazna promjenljiva D predstavlja prihod koji operater ostvari u odnosu na broj radnika. Pretpostavljeno je da prihod može da bude: "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZP), ili "NEZADOVOLJAVAJUĆI" (NP). Definisane su funkcije pripadnosti (5.57.) na sljedeći način:

Nezadovoljavajući prihod po jednom zaposlenom < 4.000 KM (2.000.000/500)
 Zadovoljavajući prihod po jednom zaposlenom ≥ 4.000 KM (2.000.000/500)

$$\mu_{D_{NP}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 2.500 \\ \frac{(5.500 - x)}{3.000}, & 2.500 \leq x \leq 5.500 \\ 0, & x \geq 55.000 \end{cases} \quad (5.57)$$

$$\mu_{D_{ZP}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.500 \\ \frac{(x - 2.500)}{3.000}, & 2.500 \leq x \leq 5.500 \\ 1, & x \geq 5.500 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova D_{ZP} , i D_{NP} prikazane su na slici 5.37.



Slika 5.37. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: D_{NP} i D_{ZP}

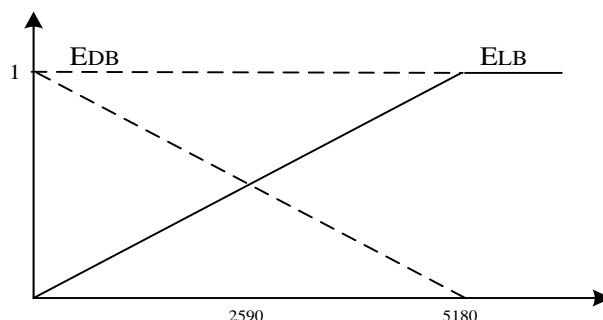
Fuzzy ulazna promjenljiva E predstavlja broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru. Ovaj parametar predstavlja značajnu ocjenu kvaliteta usluge jer je bezbjednost jedan od najznačajnijih elemenata kvaliteta. Na osnovu standarda koje je propisala Evropska komisija u vezi bezbjednosti pretpostavljeno je da nivo bezbjednosti može da bude: "LOŠ" (LB) ili "DOBAR" (DB). Definisane su funkcije pripadnosti (5.58.) na sljedeći način:

Loša bezbjednost ≥ 2590 nesreća/ 10^9 voznih km
 Dobra bezbjednost < 2590 nesreća/ 10^9 voznih km

$$\mu_{E_{LB}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{5180}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 1, & x \geq 5180 \end{cases} \quad (5.58)$$

$$\mu_{E_{DB}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(5180 - x)}{2590}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 0, & x \geq 5180 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova E_{LB} i E_{DB} prikazane su na slici 5.38.



Slika 5.38. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova E_{LB} i E_{DB}

Fuzzy ulazna promjenljiva F ostvareni rad operatera preko voznih kilometara planiranih po redu vožnje. Pretpostavljeno je da obim ostvarenog rada može biti: "MALI" (MVK), "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZVK) ili "VELIKI" (VVK), a da je kvantifikacija ocjene od 1 do 3 miliona voznih km.

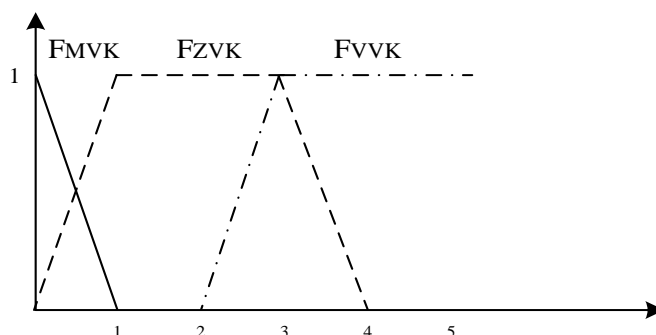
Definirane su funkcije pripadnosti (5.59.) i (5.60.) na sljedeći način:

Mali ≤ 1
 Zadovoljavajući 1 do 3
 Veliki ≥ 3

$$\mu_{F_{MVK}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ (1-x), & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & x \geq 1 \end{cases} \quad \mu_{F_{ZVK}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 1, & 1 \leq x \leq 3 \\ (4-x), & 3 \leq x \leq 4 \\ 0, & x \geq 4 \end{cases} \quad (5.59)$$

$$\mu_{F_{VVK}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ (x-2), & 2 \leq x \leq 3 \\ 1, & x \geq 3 \end{cases} \quad (5.60)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova F_{MVK} , F_{ZVK} i F_{VVK} prikazane su na slici 5.39.



Slika 5.39. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova F_{MVK} , F_{ZVK} i F_{VVK}

Fuzzy logika je osnova fuzzy sistema. Omogućava donošenje odluka na osnovu nepotpunih informacija, a modeli zasnovani na fuzzy logici se sastoje od tzv. "IF-THEN"⁴ pravila. "IF-THEN" pravila međusobno se povezuju sa "ELSE" ili "AND". Fuzzy logika definiše se pomoću algoritama za aproksimativno rezonovanje.

Neka je $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ vektor (ulazna promjenjiva) koji opisuje karakteristiku određenog objekta (na pr. broj zaposlenih) i vektor $y = [y_1, y_2, \dots, y_m]$ izlazna veličina, koja daje vrijednosti posmatranog sistema (na pr. efikasnost željezničkog operatera za transport putnika). Pravila aproksimativnog rezonovanja u fuzzy modelima imaju sljedeći oblik:

R^r : IF x_1 is A_1^r AND x_2 is A_2^r AND...AND x_n is A_n^r THEN y_1 is B_1^r, y_2 is B_2^r, \dots, y_m is B_m^r , gdje je $x \in X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n, y \in Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m$ i $A^r = A_1^r \times A_2^r \times \dots \times A_n^r \subseteq X, B^r = B_1^r \times B_2^r \times \dots \times B_m^r \subseteq Y$ a A_i vrijednost vektora x_i i B_i vrijednost vektora y_i kod pravila r . Poseban značaj fuzzy logike je mogućnost njene primjene za modeliranje složenih sistema u kojima se veoma teško može utvrditi povezanost pojedinih promjenljivih koje postoje u modelu.

U fuzzy modelu za evaluaciju ocjene obima rada željezničkih operatera za transport putnika pravilima koja su jednako vjerovatna dodijeljen je težinski faktor 1, manje vjerovatnim 0,5 a praktično nevjerovatnim 0.

⁴ "AKO-ONDA" (Prev.)

Algoritam aproksimativnog rezonovanja za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport putnika, razvijen u ovom radu, sastoji se od sljedećih fuzzy pravila:

I. Broj zaposlenih "NEODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" ≥ 500

Vozni kilometri MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
Vozni kilometri ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
Vozni kilometri VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	0.5

II. Broj zaposlenih "ODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" ≤ 500

Vozni kilometri MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1

Vozni kilometri ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	DOBRA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBAR	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1
Vozni kilometri VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	DOBRA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0,5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	DOBRA	0,5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1

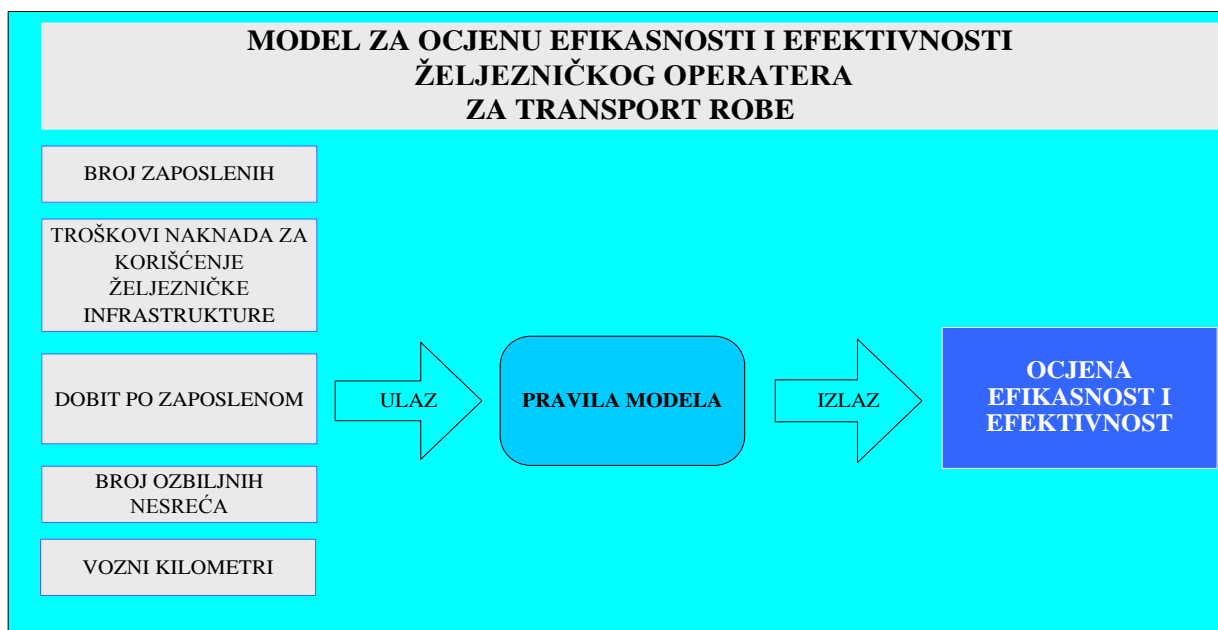
Rezultati i analiza rezultata testiranja modela na realnom primjeru željezničkog operatera ŽRS predstavljani su u poglavlju 6.5. ove disertacije.

5.2.5. FUZZY MODEL ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE

A) IDENTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

Kod razvoja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe Fuzzy ulazni parametri su broj zaposlenih, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, dobit po zaposlenom, broj ozbiljnih nesreća i vozni kilometri. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje efikasnost i efektivnost željezničkog operatera transporta robe.

U prethodno razvijenom modelu za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika opisani su kriterijumi koji su slični ulaznim promjenljivim i za model ocjene efikasnosti i efektivnosti operatera za transport robe, naravno sa sasvim drugačijim vrijednostima i načinom utvrđivanja, odnosno vrednovanja. Na slici 5.40 dat je prikaz izgleda strukture modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe.



Slika 5.40. Izgled strukture modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe

B) KVANTIFIKOVANJE KRITERIJUMA

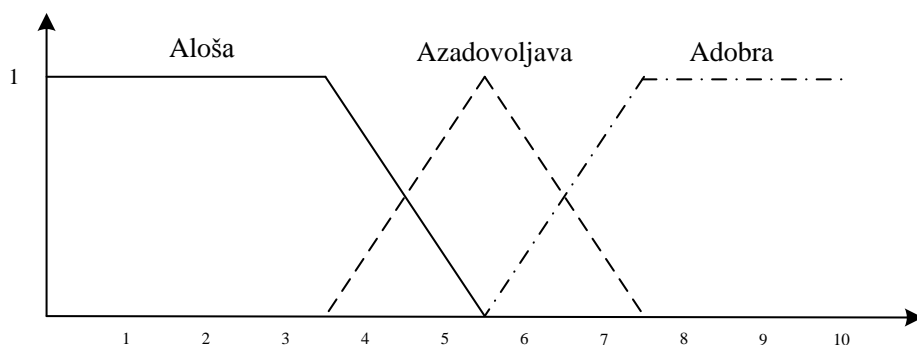
U modelu za ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera za transport robe definisana je fuzzy izlazna promjenljiva A i fuzzy ulazne promjenljive: B, C, D, E i F. Fuzzy izlazna promjenljiva A procjenjuje ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera. Pretpostavljeno je da ocjena može biti: "LOŠA", "ZADOVOLJAVAJUĆA" ili "DOBRA", a da je kvantifikacija ocjene od 1 do 10. Definisane su funkcije pripadnosti (5.61) i (5.62) na sljedeći način:

$$\begin{array}{ll} \text{Loša} & \leq 3,5 \\ \text{Zadovoljavajuća} & 3,5 \text{ do } 7,5 \\ \text{Dobra} & \geq 7,5 \end{array}$$

$$\mu_{A_z}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7}{2} \\ \frac{(2x-7)}{4}, & \frac{7}{2} \leq x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(15-2x)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.61)$$

$$\mu_{A_D}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{11}{2} \\ \frac{(2x-11)}{4}, & \frac{11}{2} \leq x \leq \frac{15}{2} \\ 1, & x \geq \frac{15}{2} \end{cases} \quad (5.62)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova $A_{LOŠA}$, $A_{ZADOVOLJAVAJUĆA}$ i A_{DOBRA} prikazane su na slici 5.41.



Slika 5.41. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova A_L , A_Z i A_D

Fuzzy ulazna promjenljiva B opisuje broj zaposlenih, koji može da bude manji ili veći od 700, što predstavlja trenutni broj zaposlenih u sektoru za transport robe ŽRS. Pretpostavljeno je da može da postoji: "NEODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" (NBZ) ili "ODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" (OBZ). Definisane su funkcije pripadnosti (5.63) na sljedeći način:

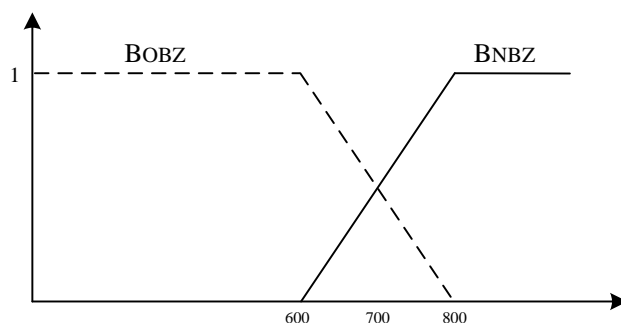
Neodgovarajući broj zaposlenih ≥ 700

Odgovarajući broj zaposlenih ≤ 700

$$\mu_{NBZ}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 600 \\ \frac{x - 600}{200}, & 600 \leq x \leq 800 \\ 1, & x \geq 800 \end{cases} \quad (5.63)$$

$$\mu_{OBZ}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 600 \\ \frac{800 - x}{200}, & 600 \leq x \leq 800 \\ 0, & x \geq 800 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova B_{NBZ} i B_{OBZ} prikazane su na slici 5.42.



Slika 5.42. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova B_{NBZ} i B_{OBZ}

Fuzzy ulazna promjenljiva C opisuje troškove naknada za korišćenje željezničke infrastrukture. Pretpostavljeno je ovi troškovi mogu da budu: "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZTN), ili "NEZADOVOLJAVAJUĆI" (NTN). Definisane su funkcije pripadnosti (5.64) na sljedeći način:

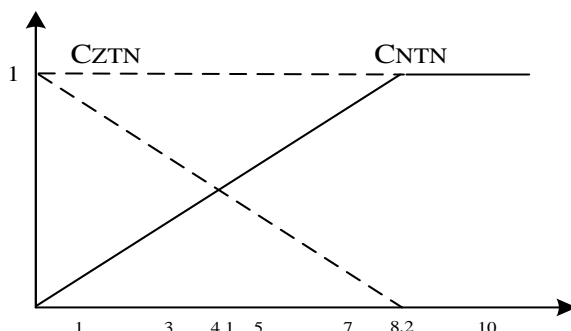
Zadovoljavajući troškovi naknada $< 4,10 \text{ KM}$

Nezadovoljavajući troškovi naknada $\geq 4,10 \text{ KM}$

$$\mu_{C_{ZTN}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(8,2 - x)}{8,2}, & 0 \leq x \leq 8,2 \\ 0, & x \geq 8,2 \end{cases}$$

$$\mu_{C_{NTN}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{8,2}, & 0 \leq x \leq 8,2 \\ 1, & x \geq 8,2 \end{cases} \quad (5.64)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova CZTN, i CNTN prikazane su na slici 5.43.



Slika 5.43. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: C_{ZTN} i C_{NTN}

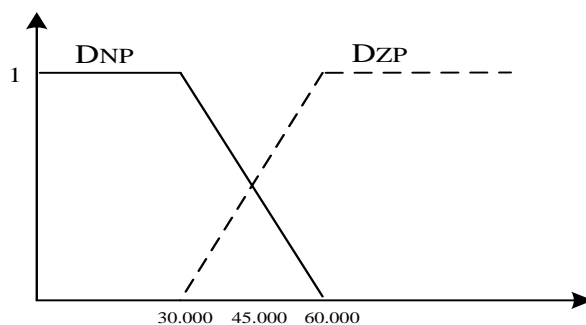
Fuzzy ulazna promjenljiva D predstavlja prihod koji operater ostvari u odnosu na broj radnika. Pretpostavljeno je da prihod može da bude: "ZADOVOLJAVAJUĆI" (ZP), ili "NEZADOVOLJAVAJUĆI" (NP). Definisane su funkcije pripadnosti (5.65) na sljedeći način:

Nezadovoljavajući prihod po jednom zaposlenom < 45.000 KM (32.000.000/700)
 Zadovoljavajući prihod po jednom zaposlenom \geq 45.000 KM (32.000.000/700)

$$\mu_{D_{NP}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 30.000 \\ \frac{(60.000 - x)}{30.000}, & 30.000 \leq x \leq 60.000 \\ 0, & x \geq 60.000 \end{cases}$$

$$\mu_{D_{ZP}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30.000 \\ \frac{(x - 30.000)}{30.000}, & 30.000 \leq x \leq 60.000 \\ 1, & x \geq 60.000 \end{cases} \quad (5.65)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova D_{ZP} , i D_{NP} prikazane su na slici 5.44.



Slika 5.44. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova: D_{NP} i D_{ZP}

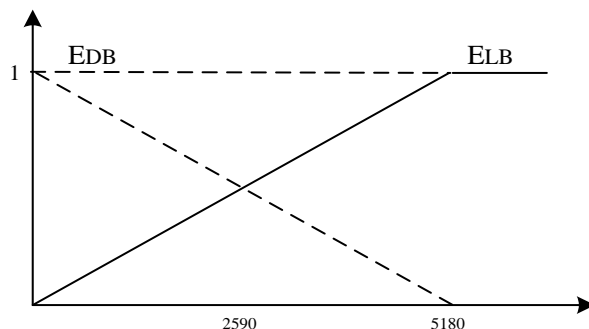
Fuzzy ulazna promjenljiva E predstavlja broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru. Ovaj parametar predstavlja značajnu ocjenu kvaliteta usluge jer je bezbjednost jedan od najznačajnijih elemenata kvaliteta. Na osnovu standarda koje je propisala Evropska komisija u vezi bezbjednosti pretpostavljeno je da nivo bezbjednosti može da bude: "LOŠ" (LB) ili "DOBAR" (DB). Definisane su funkcije pripadnosti (5.66) na sljedeći način:

Loša bezbjednost ≥ 2590 nesreća/ 10^9 voznih km
 Dobra bezbjednost < 2590 nesreća/ 10^9 voznih km

$$\mu_{E_{LB}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{5180}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 1, & x \geq 5180 \end{cases} \quad (5.66)$$

$$\mu_{E_{DB}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(5180 - x)}{2590}, & 0 \leq x \leq 5180 \\ 0, & x \geq 5180 \end{cases}$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova E_{LB} i E_{DB} prikazane su na slici 5.45.



Slika 5.45. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova E_{LB} i E_{DB}

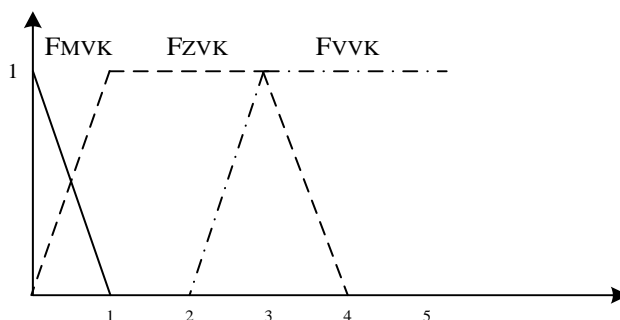
Fuzzy ulazna promjenljiva F ostvareni rad operatera preko voznih kilometara planiranih po redu vožnje. Pretpostavljeno je da obim ostvarenog rada može biti: "MALI", "ZADOVOLJAVAJUĆI" ili "VELIKI", a da je kvantifikacija ocjene od 1 do 3 miliona voznih km. Definisane su funkcije pripadnosti (5.67) i (5.68) na sljedeći način:

Mali ≤ 1
 Zadovoljavajući 1 do 3
 Veliki ≥ 3

$$\mu_{F_{MVK}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ (1 - x), & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & x \geq 1 \end{cases} \quad \mu_{F_{ZVK}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 1, & 1 \leq x \leq 3 \\ (4 - x), & 3 \leq x \leq 4 \\ 0, & x \geq 4 \end{cases} \quad (5.67)$$

$$\mu_{F_{VVK}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ (x - 2), & 2 \leq x \leq 3 \\ 1, & x \geq 3 \end{cases} \quad (5.68)$$

Funkcije pripadnosti fuzzy skupova F_{MALI} , $F_{ZADOVOLJAVAJUĆI}$ i F_{VELIKI} prikazane su na slici 5.46.



Slika 5.46. Funkcija pripadnosti fuzzy skupova F_{MVK} , F_{ZVK} , i F_{VVK}

Fuzzy logika je osnova fuzzy sistema. Omogućava donošenje odluka na osnovu nepotpunih informacija, a modeli zasnovani na fuzzy logici se sastoje od tzv. "IF-THEN" pravila. "IF-THEN" pravila međusobno se povezuju sa "ELSE" ili "AND". Fuzzy logika definiše se pomoću algoritama za aproksimativno rezonovanje. Neka je $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ vektor (ulazna promenljiva) koji opisuje karakteristiku određenog objekta (na pr. broj zaposlenih) i vektor $y = [y_1, y_2, \dots, y_m]$ izlazna veličina, koja daje vrijednosti posmatranog sistema (npr. efikasnost željezničkog operatera za transport robe). Pravila aproksimativnog rezonovanja u fuzzy modelima imaju sljedeći oblik:

$R^r : IF x_1 is A_1^r AND x_2 is A_2^r AND \dots AND x_n is A_n^r THEN y_1 is B_1^r, y_2 is B_2^r, \dots, y_m is B_m^r$, gdje je $x \in X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, $y \in Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m$ i $A^r = A_1^r \times A_2^r \times \dots \times A_n^r \subseteq X$, $B^r = B_1^r \times B_2^r \times \dots \times B_m^r \subseteq Y$ a A_i vrijednost vektora x_i i B_i vrijednost vektora y_i kod pravila r . Poseban značaj fuzzy logike je mogućnost njene primjene za modeliranje složenih sistema u kojima se veoma teško može utvrditi povezanost pojedinih promjenljivih koje postoje u modelu. U fuzzy modelu za evaluaciju ocjene obima rada željezničkih operatera za transport putnika pravilima koja su jednako vjerovatna dodijeljen je težinski faktor 1, manje vjerovatnim 0,5 a praktično nevjerovatnim 0.

Algoritam aproksimativnog rezonovanja za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport robe, razvijen u ovom radu, sastoji se od sljedećih fuzzy pravila:

I. Broj zaposlenih "NEODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" ≥ 500

Vozni kilometri MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
Vozni kilometri ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	1

RAZVOJ MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA

ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	0,5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
Vozni kilometri VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	0,5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	0.5

II. Broj zaposlenih "ODGOVARAJUĆI BROJ ZAPOSLENIH" ≤ 500

Vozni kilometri MALI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	LOŠA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
Vozni kilometri ZADOVOLJAVAJUĆI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	DOBRA	0.5
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBAR	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1
Vozni kilometri VELIKI				
Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Prihod/zaposleni	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena efikasnosti i efektivnosti	Težina
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	DOBRA	1
ZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	LOŠA	0.5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	ZADOVOLJAVAJUĆA	0,5
ZADOVOLJAVAJUĆA	NEZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	ZADOVOLJAVAJUĆA	1
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	LOŠ	DOBRA	0,5
NEZADOVOLJAVAJUĆA	ZADOVOLJAVAJUĆI	DOBAR	DOBRA	1

Rezultati i analiza rezultata testiranja modela na realnom primjeru željezničkog operatera ŽRS predstavljani su u poglavlju 6.6. ove disertacije.

6. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

U cilju sveobuhvatnog sagledavanja definisanog problema primjenjene su različite metode istraživanja, a podaci dobijeni korišćenjem svake od njih trebalo je da omoguće analizu različitih aspekata vezanih za ovaj problem, a koji se odnose na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

6.1. IZBOR KRITERIJUMA ZA TESTIRANJE RAZVIJENIH MODELA

U skladu sa opsežnim istraživanjem sprovedenim u disertaciji jedan od prvih problema jeste pojava velikog broja kriterijuma koji utiču na efikasnost i efektivnost operatera. U svrhu definisanja i vrednovanje kriterijuma izvršeno je istraživanje najčešće korišćenih kriterijuma za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih preduzeća iz dostupne literature, kao i sprovedene analize željezničkih operatera.

Za ocjenu operatera za transport putnika i transport robe definisano je po 21 kriterijum, koji su razvrstani u sljedeće grupe: kriterijumi resursa, finansijski kriterijumi, operativni kriterijumi (kriterijumi funkcionisanja), kvaliteta usluga i bezbjednosti.

Izbor prioritetnih kriterijuma izvršen je sa jednom od najpopularnijih metoda za donošenje odluka danas - Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces (FAHP), a to potkrepljuju dosadašnja iskustva iz literature da ovakve probleme treba rješavati metodama višekriterijumskog odlučivanja.

Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja kriterijuma po parovima primjenom metode FAHP za sve grupe operatera za transporta putnika i transport robe predstavljen je u poglavlju 4.6. i tabelama 4.7. i 4.8, dok je proračun dat u Prilogu C ove disertacije.

Izabrani kriterijumi su korišćeni za testiranje razvijenih modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

6.2. REZULTATI TESTIRANJA DEA MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

Korišćenjem M5.1 modela razvijena je relativna efikasnost za posmatranu grupu od 21 željezničkog operatera. CCR (model pretpostavlja konstantni prinos u odnosu na obim ulaganja) i BCC (model pretpostavlja promjenljivi prinos u odnosu na obim ulaganja) karakteristike za svakog Operatera su date u tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Ocjena efikasnosti željezničkih operatera za transport putnika

Zemlja	Željeznički operater	Ocjena Efikasnosti CCR modelom	Benčmarkovi	Ocjena Efikasnosti BCC modelom
ŽO1	ÖBB	1.00000		1.00000
ŽO2	HSH	0.32340	ŽO ₁	0.63492
ŽO3	SNCB/NMBS	0.93500	ŽO ₁ , ŽO ₉	1.00000
ŽO4	ŽRS	0.03285	ŽO ₁	0.20098
ŽO5	ŽFBiH	0.04344	ŽO ₁	0.21147
ŽO6	BDZ	0.32340	ŽO ₁	0.73492
ŽO7	ŽPCG	0.17023	ŽO ₁ ,	0.30119
ŽO8	ČD	0.42288	ŽO ₁	0.66107
ŽO9	SNCF Voyages	1.00000		1.00000
ŽO10	NS Reizigers	0.84551	ŽO ₉ , ŽO ₁₄	1.00000
ŽO11	HŽ	0.41440	ŽO ₁ , ŽO ₁₄	0.56212
ŽO12	MÁV-Start	0.39707	ŽO ₁ , ŽO ₁₄	0.61309
ŽO13	MŽT	0.44830	ŽO ₁	0.57607
ŽO14	DB Vertrieb GmbH	1.00000		1.00000
ŽO15	PKP	0.03069	ŽO ₁ , ŽO ₁₄	0.26100
ŽO16	CFR Călători	0.45130	ŽO ₁ , ŽO ₁₄	0.58887
ŽO17	ZSSK	0.12233	ŽO ₁ , ŽO ₁₄	0.56045
ŽO18	SŽ - Potniški promet	0.23249	ŽO ₁ , ŽO ₁₄	0.48302
ŽO19	SV	0.40714	ŽO ₁ , ŽO ₁₄ , ŽO ₂₁	0.51553
ŽO20	SBB-Passengers	0.76198	ŽO ₁₄ , ŽO ₂₁	1.00000
ŽO21	ATOC Ltd	1.00000		1.00000
Prosjek		0.47619		0.66667

Rezultati iz tabele pokazuju da postoje četiri željeznička operatera koji imaju CCR ocjene jednake 1. Ova ocjena mjeri ukupnu efikasnost kada se pretpostavi konstantni RTS. To su željeznički operateri ÖBB Personenverkehr AG, Société Nationale des Chemins de fer français Voyages, Deutsche Bahn DB Vertrieb GmbH i Association of Train Operating Companies

Limited. Ovi željeznički operateri se mogu posmatrati kao realni i korisni benčmarkovi ostalim neefikasnim željezničkim operaterima. Željeznički operater ÖBB je jedan od četiri operatera koji imaju najbolji rezultat, osim toga, to je operater koji se najviše pojavljuje kao benčmark. Operateri koji imaju ocjenu ispod prosjeka (0.47619) smatraju se neefikasnim.

Svaki željeznički operater odlikuje se specifičnim karakteristikama u željezničkom saobraćaju, ali bez obzira na to, željeznički operateri bi trebalo da budu otvoreni za poboljšanje rada i da imaju jedan ili više željezničkih operatera kao primjer koji bi trebalo da slijede. Izbor relevantnih benčmakova je izveden na osnovu izračunavanja CCR DEA modela korišćenjem dobijenih vrijednosti za dualne promjenljive. Rezultati prikazani u četvrtoj koloni tabele 6.1., pokazuju za svakog neefikasnog željezničkog operatera koji mu je operater pogodan za poređenje iz skupa efikasnih.

BCC ocjena mjeri efikasnost pod pretpostavkom promjenljivog RTS. U ovom empirijskom istraživanju, postoji sedam željezničkih operatera kojima je dodijeljen BCC efikasan status, pored već četiri operatera koji zadržavaju svoj prethodni efikasan status. Na primjer, može se zaključiti da željeznički operateri SNCB/NMBS, NS Reizigers i SBB-Passengers imaju efikasan rad, odnosno ($\theta_{BCC}^* = 1$). Dodatno, može se smatrati da svi željeznički operateri koji imaju BCC ocjenu iznad prosjeka imaju dobru efikasnost rada.

Na osnovu rezultata ocjene efikasnosti željezničkih operatera u okruženju iz tabele 6.1. može se zaključiti da su njihove ocjene ispod prosjeka CCR i BBC. Posmatrajući rezultate operatera u BiH i to ŽFBiH i ŽRS očigledno je da imaju najlošije rezultate efikasnosti u transportu putnika od operatera u okruženju. Operateri koji imaju dobru efikasnost pojavljuju se kao benčmarkovi odnosno referentni skupovi za neefikasne operatere. Na primjer benčmark za operatere u BiH je operater ÖBB Personenverkehr AG kako bi identifikovali svoju neefikasnost. Rezultati ukazuju da željeznički operateri transporta putnika u BiH moraju da podignu nivo efikasnosti na viši nivo kako bi bili konkurentni efikasnim željezničkim operaterima.

Razvijeni model i metodologija za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport putnika analogno se može primjeniti i za operatere za transport robe.

6.3. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

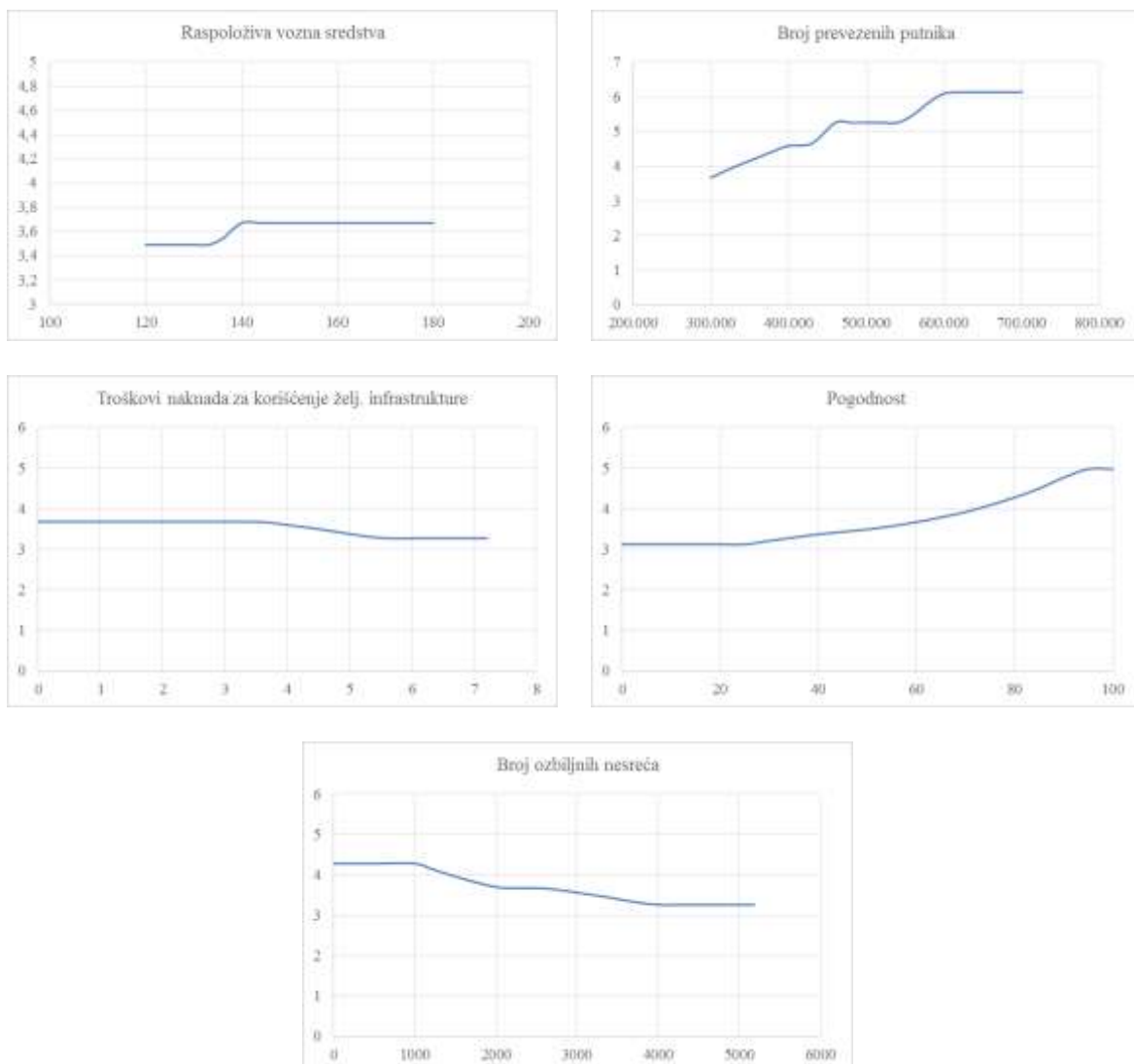
Ulazne promjenljive u *fuzzy* sistemima predstavljaju tzv. lingvističke promjenljive koje uzimaju različite vrijednosti, (kao npr. "raspoloživi broj voznih sredstava", „broj prevezenih putnika“, „troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture“, pogodnost- sposobnost ponudjenih usluga“ i „broj ozbiljnih nesreća“). Izlazni rezultat daje se u kontinualnoj formi. Svim mogućim vrijednostima izlazne promjenljive određuje se odgovarajući stepen pripadnosti. Nakon sagledavanja stepena pripadnosti pojedinih vrijednosti izlazne promjenljive, vrši se defazifikacija. Defazifikacija podrazumeva izbor jedne vrijednosti izlazne promjenljive. Metod Centroid (center of gravity-COG ili center of area-COA) je osnovni metod defazifikacije koji izračunava centar gravitacije funkcije pripadnosti. Izlazna vrijednost x^* , koja predstavlja rezultat primjene Centroid metode izračunava se prema obrascu (6.1).

$$x^* = \frac{\sum_{i=x_{\min}}^{x_{\max}} x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=x_{\min}}^{x_{\max}} \mu(x_i)} \quad (6.1)$$

gdje je $\mu(x_i)$ funkcija pripadnosti.

U ovoj disertaciji korišten je Mamdani fuzzy sistem zaključivanja (defazifikacija Centroid), metod minimizacije za operator "AND" ("I") i metod maksimizacije za operator "OR" ("ILI").

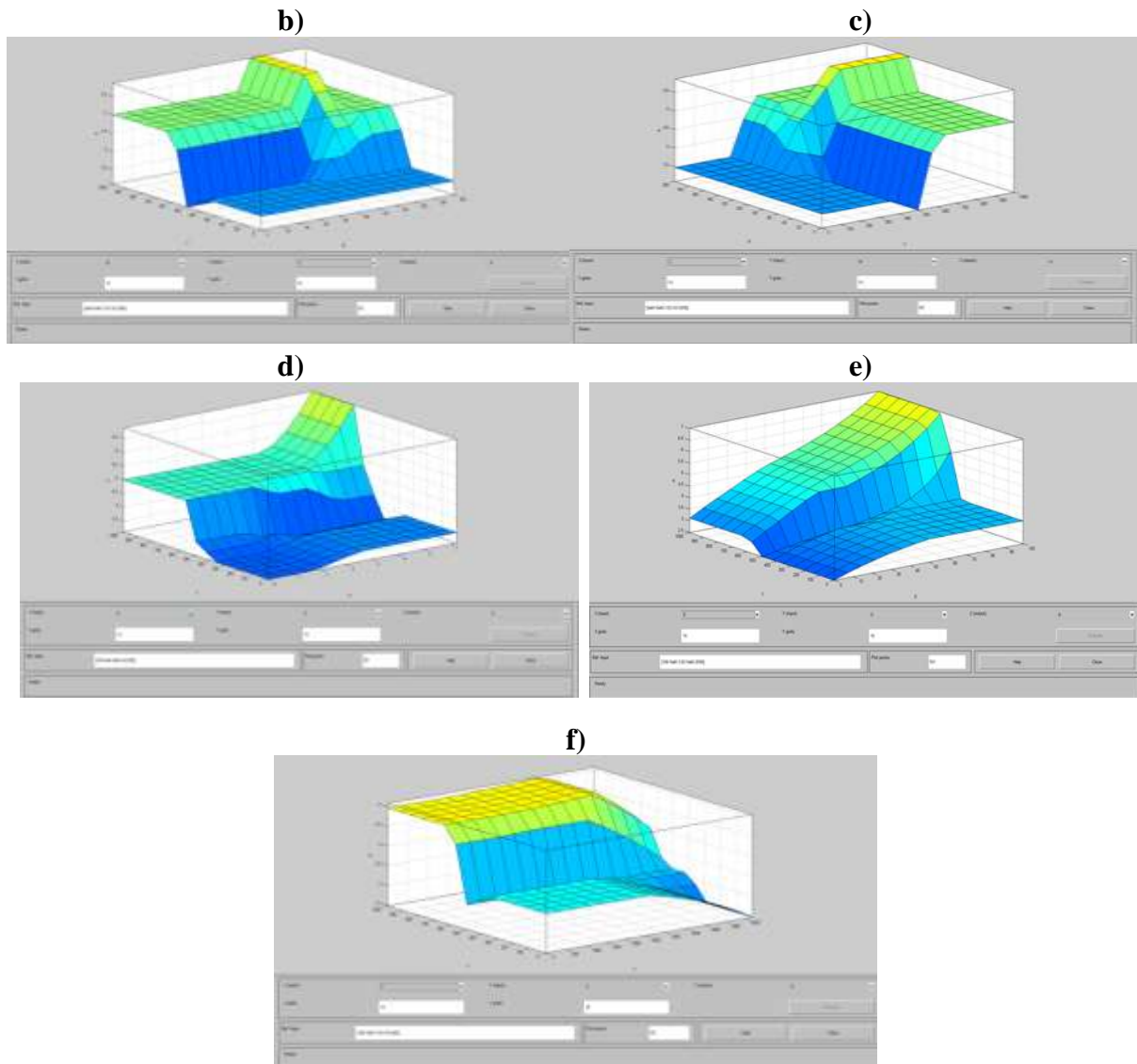
Saglasno definisanoj funkciji izlazne promenjive izvršena je ocjena obima rada željezničkog operatera. Pri tom treba reći da u ovakvim fuzzy modelima ne postoji mogućnost strogo definisanja granica intervala. Dobijeni rezultati o ocjeni obima rada željezničkog operatera za transport putnika na slučajno odabranom uzorku u funkciji svih 5 ulaznih parametara prikazan je na slici 5.25.



Slika 6.1. Ocjena obima rada operatera za transport putnika u funkciji ulaznih parametara

Grafički prikaz izlazne fuzzy promjenljive A (ocjena obima rada) u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih B (raspoloživi broj vozni sredstava), C (broj prevezenih putnika), D (troškovi

naknada za korišćenje željezničke infrastrukture), E (pogodnost) i F (broj ozbiljnih nesreća) prikazan je na slici 6.2.



Slika 6.2. Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F

Kao što je već rečeno kvantifikacija skupova kriterijuma u fuzzy modelima urađena je primjenom Mamdani fuzzy sistem zaključivanja (defazifikacija Centroid), metod minimizacije za operator "AND" i metod maksimizacije za operator "OR" ("ILI").

Da bi se ispitaio uticaj kako ulazne promjenljive utiču na ocjenu obima rada željezničkog operatera sprovedeno je testiranje modela, odnosno odgovori na pitanje „šta-ako“. Na primjer ako se posmatra ocjena obima rada u funkciji raspoloživog broja voznih sredstava uz konstantne vrijednosti ostalih ulaznih promjenljivih uočljivo je da ocjena obima rada raste do nivoa od 140 voznih sredstava. Treba istaći da funkcija nema linearni trend rasta sa povećanjem broja voznih sredstava i da njena vrijednost stagnira na ocjeni od 3,67 za broj voznih sredstava od 140 do 180. Ovo može da se objasni činjenicom da operater raspolaže sa viškom voznih sredstava za obim rada koji trenutno obavlja (slika 6.1).

Kada je u pitanju analiza ocjene obima rada operatera u funkciji ulazne promjenljive broj prevezenih putnika uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da funkcija ima trend rasta povećanjem broja prevezenih putnika. Promjena broja prevezenih putnika u intervalu od 300.000 do 700.000, izaziva promjenu vrijednosti izlazne promjenljive do 67% (slika 6.1).

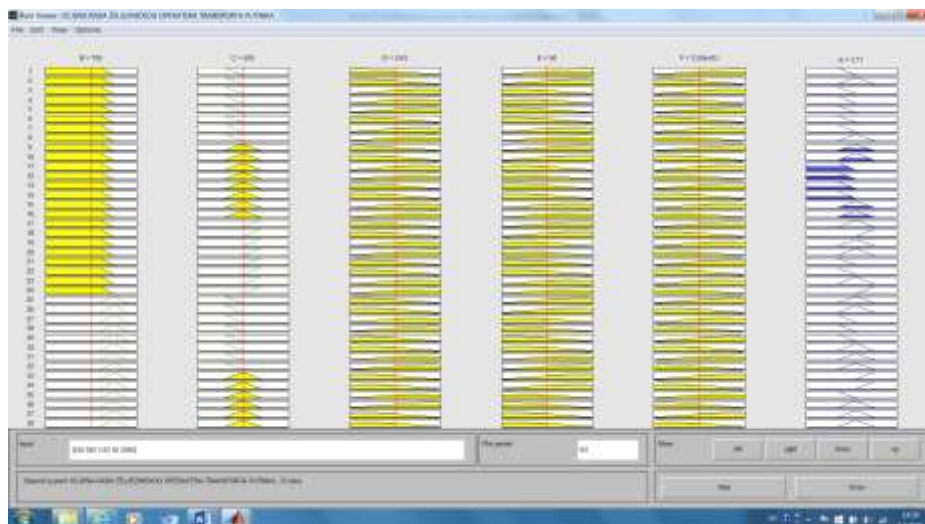
Posmatrajući ulaznu promjenljivu troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne u funkciji ocjene obima rada operatera uočljivo je da se vrijednost ocjene obima rada kreće od 3 do 4. Promjena visine troškova naknada za korišćenje željezničke infrastrukture u intervalu od 0 do 7, 2 izaziva promjenu izlazne veličine maksimalno do 13%. Ovo može da se objasni činjenicom da je definisana visina naknade za korišćenje željezničke infrastrukture u BiH među najnižim u EU i zemljama okruženja (slika 6.1).

Analiza ocjene obima rada željezničkog operatera za transport putnika kada se posmatra ulazna promjenljiva pogodnost - sposobnost ponudjenih usluga uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo da funkcija ima linearni trend rasta povećanjem pogodnosti operatera (slika 6.1).

Ako se posmatra ulazna promjenljiva broj ozbiljnih nesreća uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da se smanjenjem ove ulazne promjenljive u intervalu od 0 do 5180 FWSIs povećava ocjenu obima rada za 30% (slika 6.1).

Rezultati sprovedenog testiranja fuzzy modela prikazani su u prilogu G. Za definisane slučajeve testiranja fuzzy modela dobijeni rezultati predloženog fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport putnika daju validne rezultate.

Na osnovu rezultata fuzzy modela za zadate vrijednosti ulaznih promjenljivih može se zaključiti da je ocjena obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport putnika loša. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera prikazana je na slici 6.3.



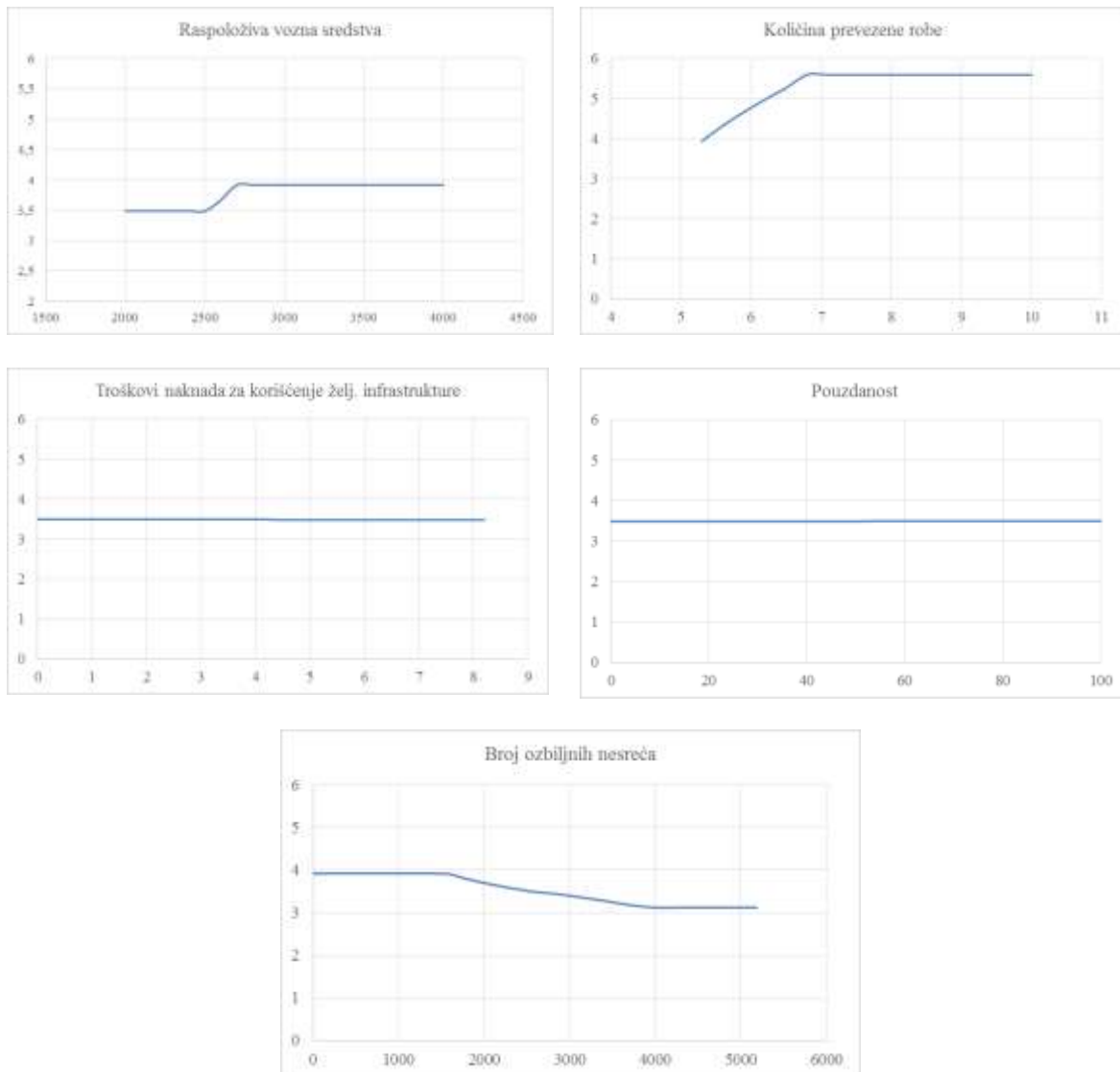
Slika 6.3. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport putnika

6.4. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE

Fuzzy ulazne promjenljive su raspoloživi broj voznih sredstava (broj lokomotiva i teretnih kola), količina prevezene robe, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, pouzdanost (prekoračenje roka isporuke) i broj ozbiljnih nesreća. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje obim rada željezničkog operatera transporta robe.

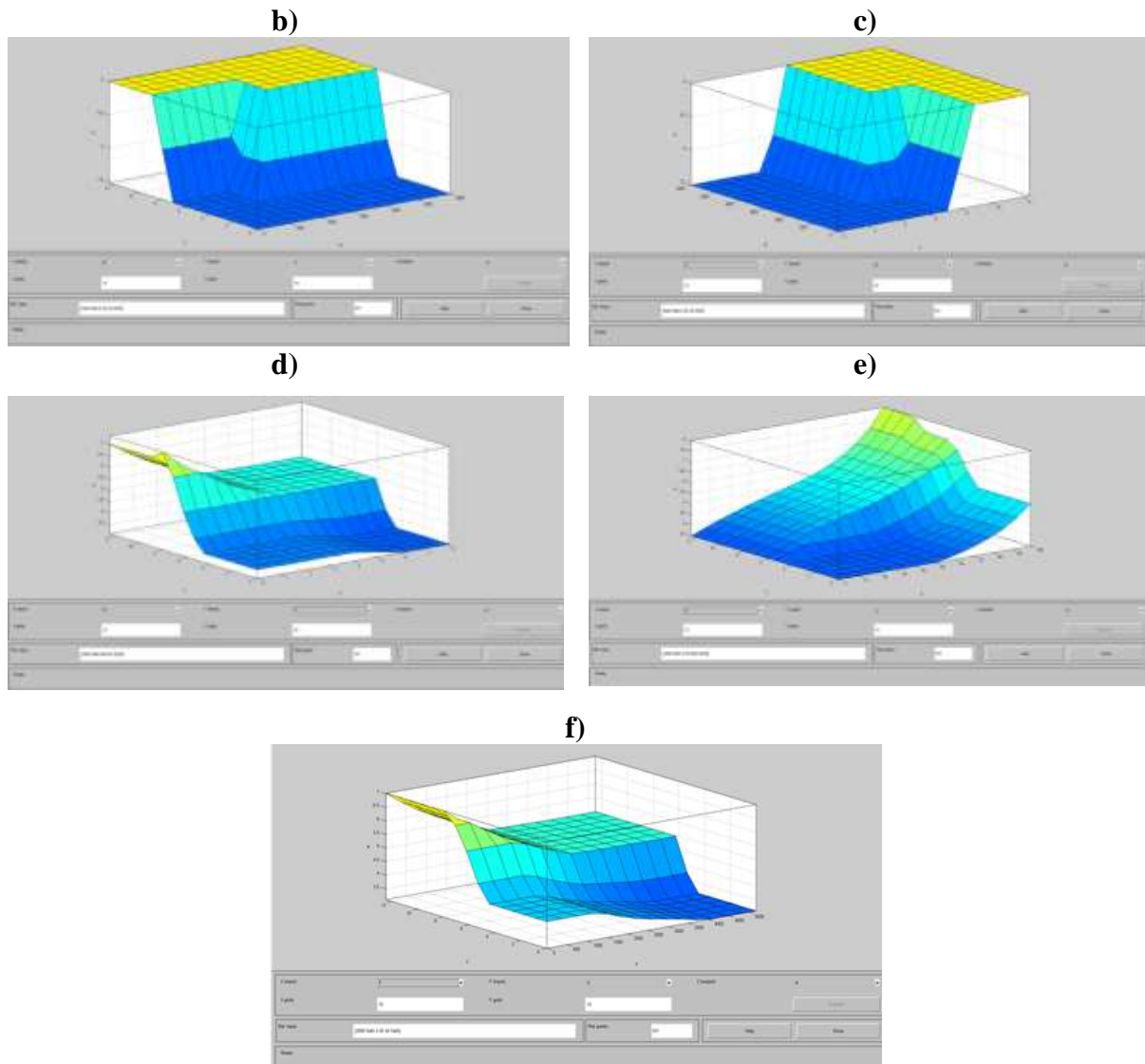
Kao što je predhodno rečeno u ovoj disertaciji korišten je Mamdani fuzzy sistem zaključivanja (defazifikacija Centroid), metod minimizacije za operator "AND" ("I") i metod maksimizacije za operator "OR" ("ILI").

Saglasno definisanoj funkciji izlazne promenjive izvršena je ocjena obima rada željezničkog operatera za transport robe. Dobijeni rezultati o ocjeni obima rada na slučajno odabranom uzorku u funkciji svih 5 ulaznih parametara prikazan je na slici 6.4.



Slika 6.4. Ocjena obima rada operatera za transport robe u funkciji ulaznih parametara

Grafički prikaz izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih B, C, D, E i F prikazan je na slici 6.5.



Slika 6.5. Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F

Da bi se ispitaio uticaj kako ulazne promjenljive utiču na ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport robe sprovedeno je testiranje modela, odnosno odgovori na pitanje „šta-ako“. Na primjer ako se posmatra ocjena obima rada u funkciji raspoloživog broja voznih sredstava uz konstantne vrijednosti ostalih ulaznih promjenljivih uočljivo je da ocjena obima rada raste u intervalu od 2500 do 2700 voznih sredstava. Treba istaći da funkcija nema linearni trend rasta sa povećanjem broja voznih sredstava i da njena vrijednost stagnira na ocjeni od 3,49 za broj voznih sredstava do 2500 i stagnira na ocjeni 3,92 za broj voznih sredstava od 2700 do 4000. Ovo može da se objasni činjenicom da operater raspolaže sa viškom voznih sredstava za obim rada koji trenutno obavlja (slika 6.4).

Kada je u pitanju analiza ocjene obima rada operatera u funkciji ulazne promjenljive broj količine prevezene robe uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da funkcija ima trend rasta u intervalu od 5 do 7 miliona tona prevezene robe a poslije stagnira. Promjena

količine prevezene robe u intervalu od 5 do 7 miliona tona, izaziva promjenu vrijednosti izlazne promjenljive do 60% (slika 6.4).

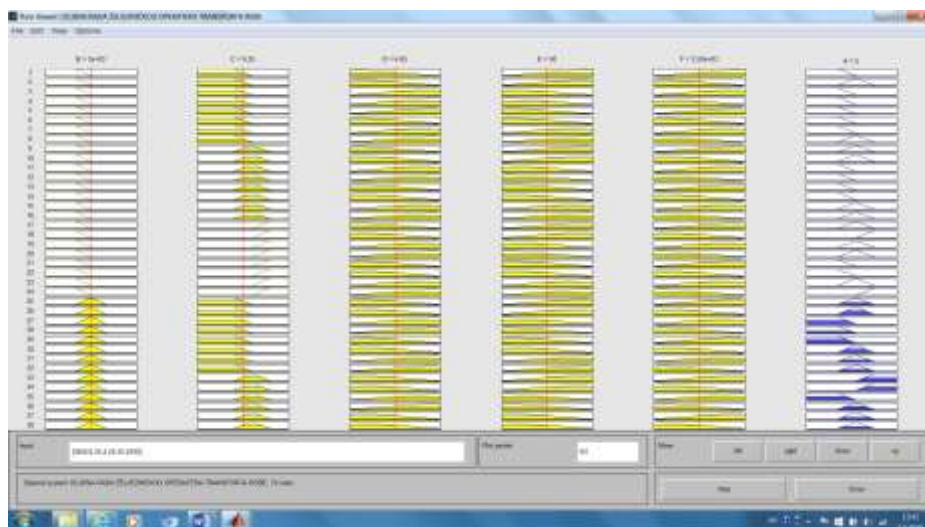
Posmatrajući ulaznu promjenljivu troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne u funkciji ocjene obima rada operatera uočljivo je da je vrijednost ocjene obima rada konstantna. Promjena visine troškova naknade za korišćenje željezničke infrastrukture u intervalu od 0 do 8, 2 ne izaziva promjenu izlazne veličine. Ovo može da se objasni činjenicom da je definisana visina naknade za korišćenje željezničke infrastrukture u BiH među najnižim u EU i zemljama okruženja. To je rezultat postojećeg finansijskog stanja željezničkih entiteta, mogućnosti države u pogledu državne pomoći željeznici, činjenice da je izrazito dominantan unutrašnji saobraćaj (bez tranzita) i da je u transportu robe dominantna roba niske vrijednosti (ugalj, ruda, koks, krečnjak, drvo i proizvodi od drveta) sa oko 86% učešća prema podacima za 2014. godinu. (slika 6.4).

Analiza ocjene obima rada željezničkog operatera za transport robe kada se posmatra ulazna promjenljiva puzdanost – prekoračenje roka isporuke uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo da funkcija ima konstantnu vrijednost (slika 6.4).

Ako se posmatra ulazna promjenljiva broj ozbiljnih nesreća uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da se smanjenjem ove ulazne promjenljive u intervalu od 0 do 5180 FWSIs povećava ocjenu obima rada za oko 26% (slika 6.4).

Rezultati sprovedenog testiranja fuzzy modela prikazani su u prilogu G. Za definisane slučajeve testiranja fuzzy modela dobijeni rezultati predloženog fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport robe daju validne rezultate.

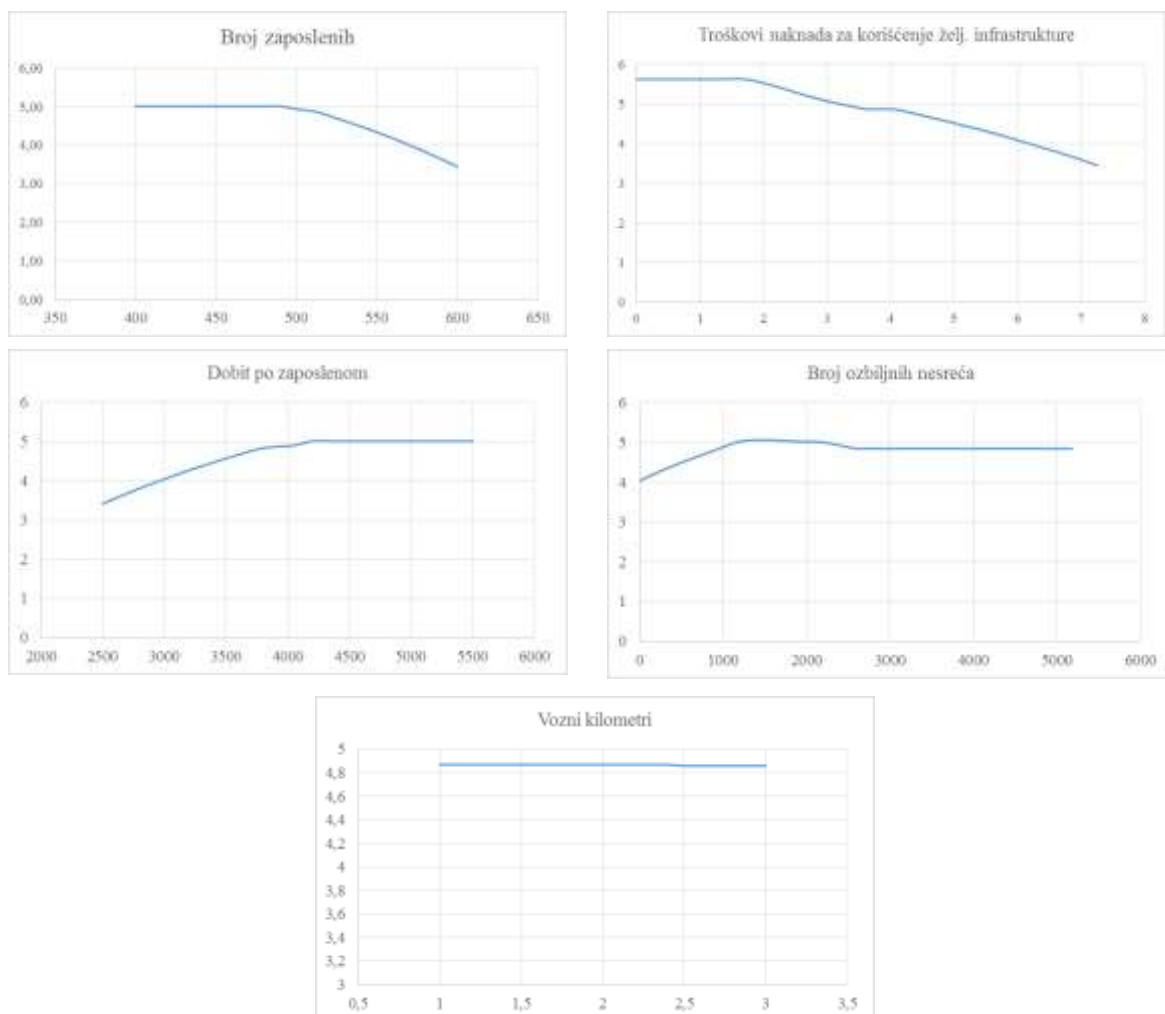
Na osnovu rezultata fuzzy modela za zadate vrijednosti ulaznih promjenljivih može se zaključiti da je ocjena obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe zadovoljavajuća. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada operatera prikazana je na slici 6.6. Rezultati sprovedenog testiranja fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport robe prikazani su u prilogu G. Za definisane slučajeve testiranja fuzzy modela dobijeni rezultati predloženog fuzzy modela daju validne rezultate.



Slika 6.6. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe

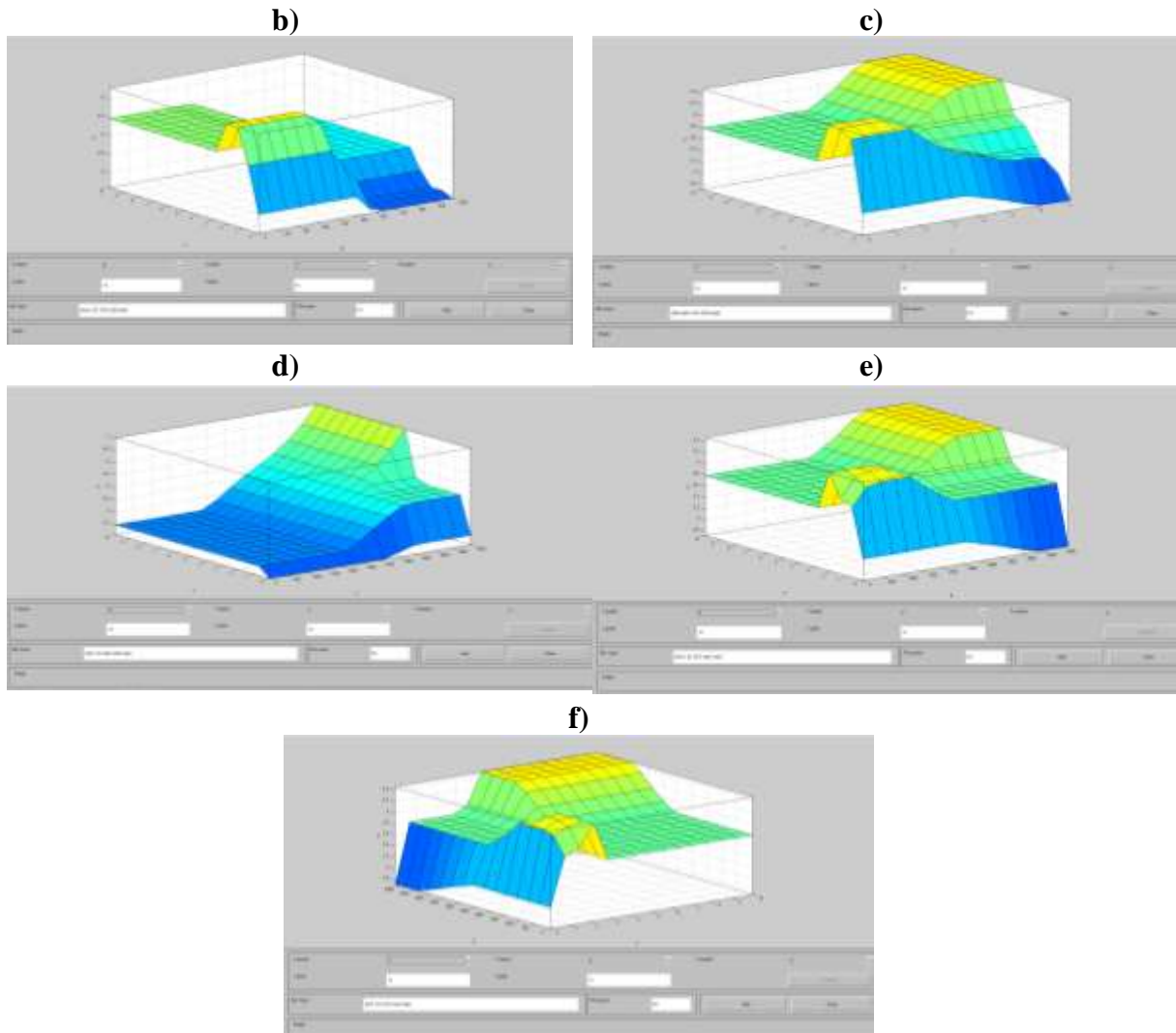
6.5. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

Ulazne promjenljive u *fuzzy* sistemim su broj zaposlenih, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, dobit po zaposlenom, broj ozbiljnih nesreća i vozni kilometri koje uzimaju različite vrijednosti. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje efikasnost i efektivnost željezničkog operatera za transport putnika. Svim mogućim vrijednostima izlazne promjenljive određuje se odgovarajući stepen pripadnosti. Nakon sagledavanja stepena pripadnosti pojedinih vrijednosti izlazne promjenljive izvršena je defazifikacija. Defazifikacija podrazumeva izbor jedne vrijednosti izlazne promjenljive. Kao što je već prethodno rečeno u potpoglavlju 5.2.2 i 5.2.3 kvantifikacija skupova kriterijuma u fuzzy modelima urađena je primjenom Mamdani fuzzy sistem zaključivanja (defazifikacija Centroid), metod minimizacije za operator "AND" i metod maksimizacije za operator "OR" ("ILI"). Saglasno definisanoj funkciji izlazne promjenjive izvršena je ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera. Pri tom treba ponovo istaći da u ovakvim fuzzy modelima ne postoji mogućnost strogo definisanja granica intervala. Dobijeni rezultati o ocjeni efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika na slučajno odabranom uzorku u funkciji svih 5 ulaznih parametara prikazan je na slici 6.7.



Slika 6.7. Ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika u funkciji ulaznih parametara

Grafički prikaz izlazne fuzzy promjenljive A (ocjena efikasnosti i efektivnosti) u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih B (broj zaposlenih), C (troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture), D (dobit po zaposlenom), E (broj ozbiljnih nesreća) i F (vozni kilometri) prikazan je na slici 6.8.



Slika 6.8. Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F

Da bi se ispitao uticaj kako ulazne promjenljive utiču na ocjenu obima rada željezničkog operatera sprovedeno je testiranje modela za različite vrijednosti ulaznih promjenljivih.

U modelu je posmatran broj zaposleni u funkciji ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika iz razloga što je broj zaposlenih jedno od najosjetljivijih segmenata procesa restrukturiranja željezničkog sektora u BiH i samih željezničkih operatera. Sistemi željezničkih preduzeća opterećeni su znatnim viškom broja zaposlenih.

Analizirajući broj zaposlenih kao ulaznu promjenljivu uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne u funkciji ocjene efikasnosti i efektivnosti operatera uočljivo je da efikasnost poslovanja operatera opada sa povećanjem broja zaposlenih. Treba istaći da funkcija nema linearni opadajući trend i da njena vrijednost stagnira na vrijednosti oko 5 za broj zaposlenih do 450, pa i 490, a da tek za veće vrijednosti od 500 ima značajniji pad. Promjena broja

zaposlenih u intervalu od $\pm 20\%$, izaziva promjenu vrijednosti izlazne promjenljive maksimalno do 15.5%. Ovo može da se objasni činjenicom da minimalni broj zaposlenih za održavanje planiranog tehnološkog procesa i obima rada, za postojeću tehničko-tehnološku opremljenost operatera je na nivou između 400 i 450 radnika (slika 6.7).

Posmatrajući ulaznu promjenljivu troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne u funkciji ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika uočljivo je da vrijednost ocjene ima linearni trend pada sa povećanjem visine naknade. Promjena visine troškova naknade za korišćenje željezničke infrastrukture u intervalu od 0 do 7, 2 izaziva promjenu izlazne promjenljive do 63% (slika 6.7).

Kada je u pitanju analiza ocjene efikasnosti i efektivnosti u funkciji ulazne promjenljive dobit po zaposlenom uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da funkcija ima trend rasta u intervalu od 2500 do 4000 hiljade konvertibilnih maraka, a od 4000 do 5500 stagnira. Promjena dobiti po zaposlenom u zadatom intervalu, izaziva promjenu vrijednosti izlazne promjenljive do 47% (slika 6.7).

Ako se posmatra ulazna promjenljiva broj ozbiljnih nesreća uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da se smanjenjem ove ulazne promjenljive u intervalu od 0 do 5180 FWSIs povećava ocjena za oko 20% (slika 6.7).

Analiza ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika kada se posmatra ulazna promjenljiva vozni kilometri uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da funkcija ima konstantnu vrijednost (slika 6.7).

Rezultati sprovedenog testiranja fuzzy modela prikazani su u prilogu G. Za definisane slučajeve testiranja fuzzy modela dobijeni rezultati predloženog fuzzy modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika daju validne rezultate. Na osnovu rezultata fuzzy modela za zadate vrijednosti ulaznih promjenljivih može se zaključiti da je ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera ŽRS za transport putnika zadovoljavajuća. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera prikazana je na slici 6.9.

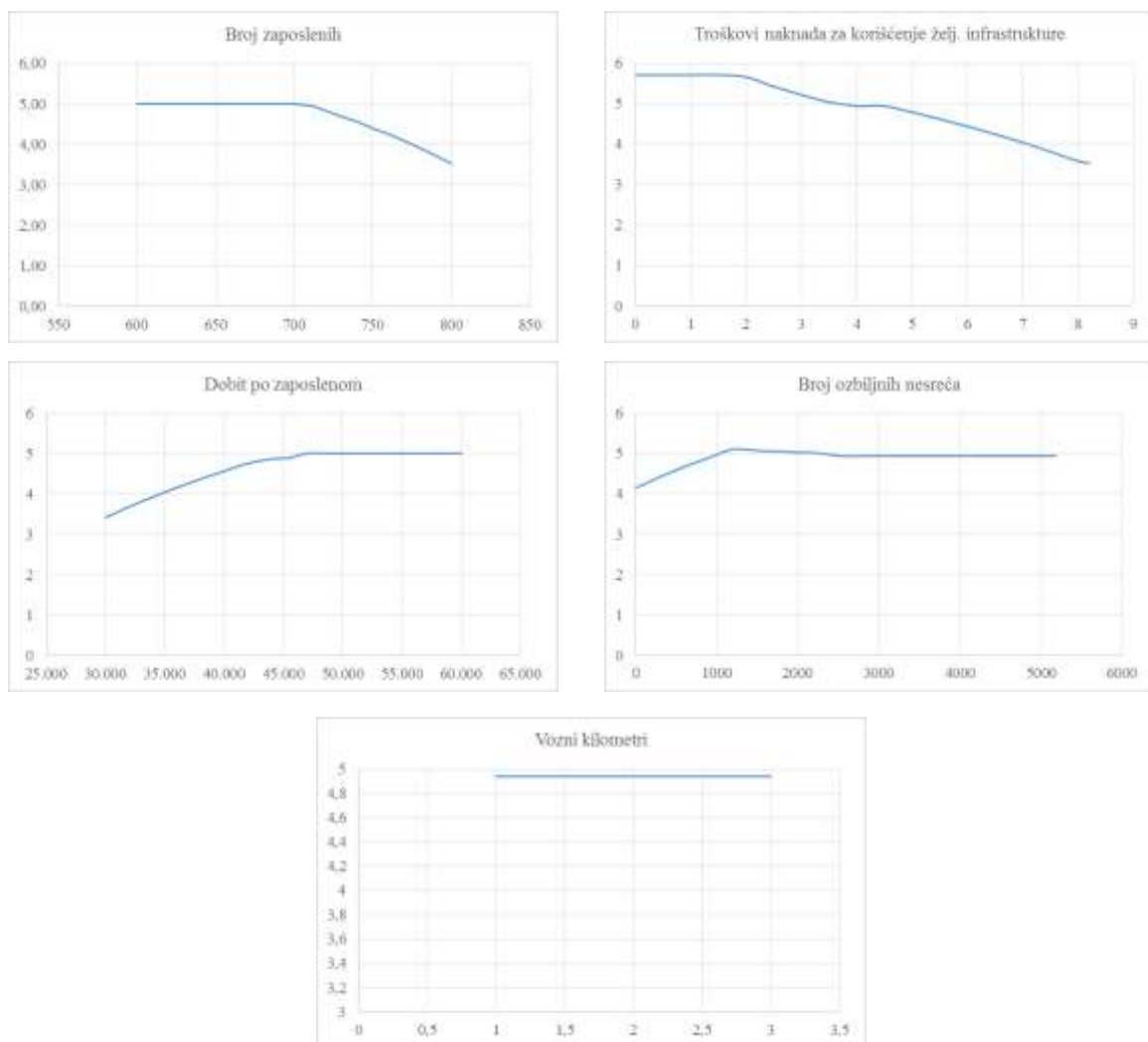


Slika 6.9. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe

6.6. REZULTATI TESTIRANJA FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE

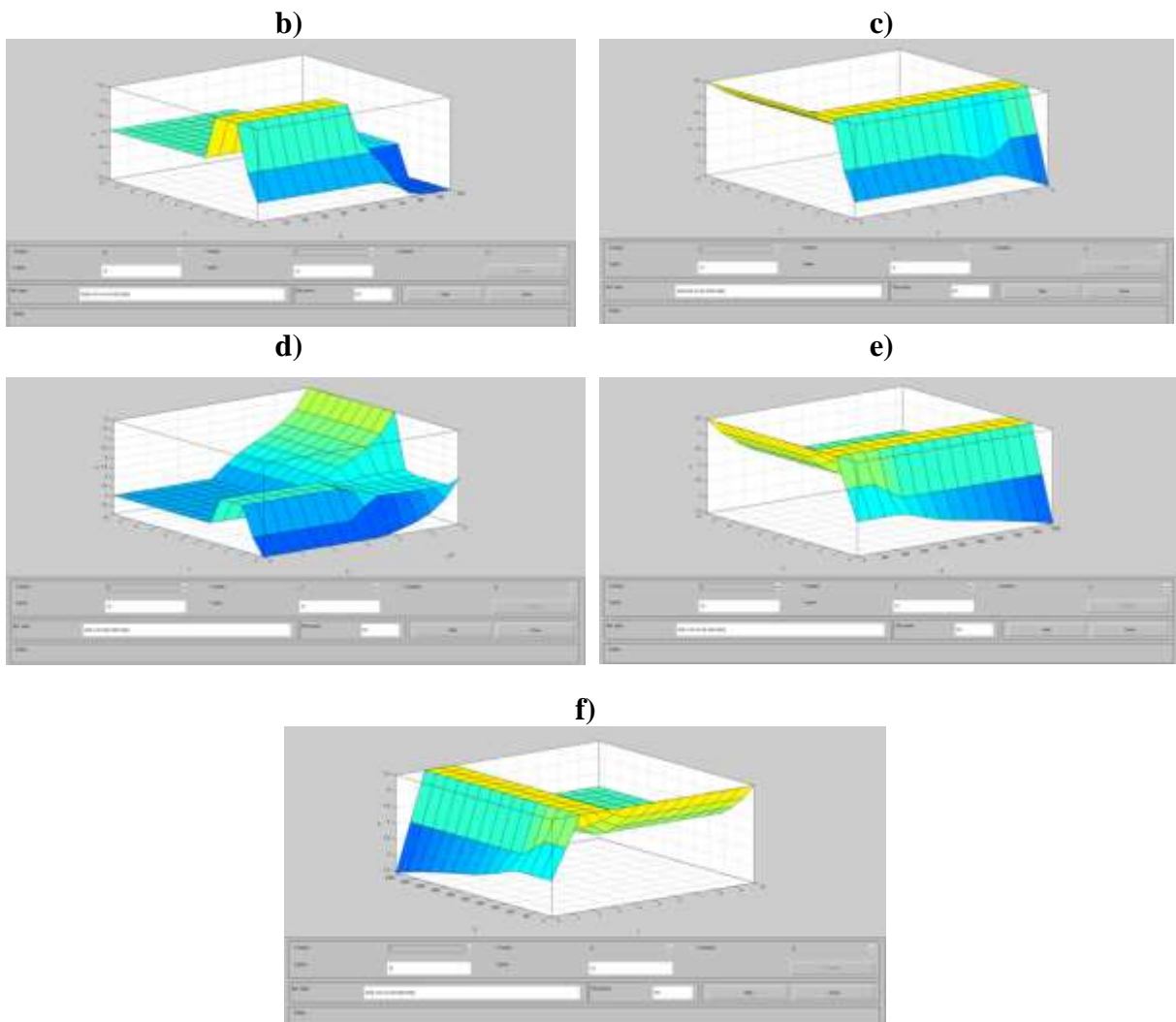
Fuzzy ulazne promjenljive su broj zaposlenih, troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, dobit po zaposlenom, broj ozbiljnih nesreća i ostvareni vozni kilometri. Fuzzy izlazna promjenljiva ocjenjuje efikasnost i efektivnost željezničkog operatera za transport robe.

Saglasno definisanoj funkciji izlazne promjenjive izvršena je ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera. Pri tom treba ponovo istaći da u ovakvim fuzzy modelima ne postoji mogućnost strogog definisanja granica intervala. Dobijeni rezultati o ocjeni efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe na slučajno odabranom uzorku u funkciji svih 5 ulaznih parametara prikazan je na slici 6.10.



Slika 6.10. Ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe u funkciji ulaznih parametara

Grafički prikaz izlazne fuzzy promjenljive A (ocjena efikasnosti i efektivnosti) u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih B (broj zaposlenih), C (troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture), D (dobit po zaposlenom), E (broj ozbiljnih nesreća) i F (vozni kilometri) prikazan je na slici 6.11.



Slika 6.11. Izgled izlazne fuzzy promjenljive A u funkciji od ulaznih fuzzy promjenljivih: B, C, D, E i F

Da bi se ispitalo uticaj kako ulazne promjenljive utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera sprovedeno je testiranje modela za različite vrijednosti ulaznih parametara.

Analizirajući broj zaposlenih kao ulaznu promjenljivu uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne u funkciji ocjene efikasnosti i efektivnosti operatera uočljivo je da efikasnost poslovanja operatera opada sa povećanjem broja zaposlenih. Treba istaći da funkcija nema linearni opadajući trend i da njena vrijednost stagnira na vrijednosti oko 5 za broj zaposlenih do 700, a da tek za veće vrijednosti od 700 ima značajniji pad. Promjena broja zaposlenih u intervalu od 600 do 800 izaziva promjenu vrijednosti izlazne promjenljive maksimalno do 40%. Ovo može da se objasni činjenicom da minimalni broj zaposlenih za održavanje planiranog tehnološkog procesa i obima rada, za postojeću tehničko-tehnološku opremljenost operatera je na nivou između 600 i 700 radnika (slika 6.10).

Posmatrajući ulaznu promjenljivu troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne u funkciji ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe uočljivo je da vrijednost ocjene ima linearni trend pada sa povećanjem visine naknade. Promjena visine troškova naknade za korišćenje željezničke

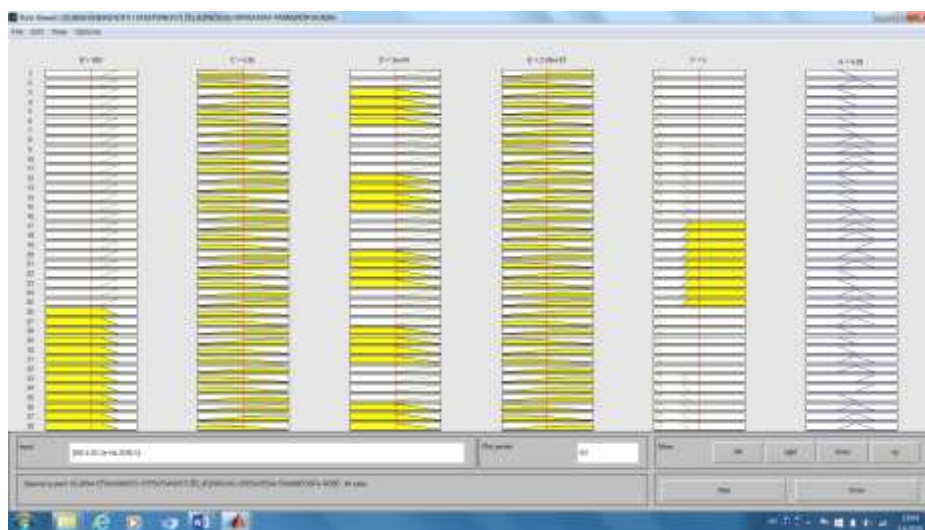
infrastrukture u intervalu od 0 do 8, 2 izaziva promjenu izlazne promjenljive do 62% (slika 6.10).

Kada je u pitanju analiza ocjene efikasnosti i efektivnosti u funkciji ulazne promjenljive dobit po zaposlenom uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da funkcija ima trend rasta u intervalu od 30,000 do 47.000 hiljade konvertibilnih maraka, a od 47.000 hiljada stagnira. Promjena dobiti po zaposlenom u zadatom intervalu, izaziva promjenu vrijednosti izlazne promjenljive do 47% (slika 6.10).

Ako se posmatra ulazna promjenljiva broj ozbiljnih nesreća uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo je da se smanjenjem ove ulazne promjenljive u intervalu od 0 do 5180 FWSIs povećava ocjena za oko 4% (slika 6.10).

Analiza ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika kada se posmatra ulazna promjenljiva vozni kilometri uz uslov da su ostale ulazne veličine konstantne uočljivo da funkcija ima konstantnu vrijednost (slika 6.10).

Rezultati sprovedenog testiranja fuzzy modela prikazani su u prilogu G. Za definisane slučajeve testiranja fuzzy modela dobijeni rezultati predloženog fuzzy modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport robe daju validne rezultate. Na osnovu rezultata fuzzy modela za zadate vrijednosti ulaznih promjenljivih može se zaključiti da je ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera ŽRS za transport robe zadovoljavajuća. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera prikazana je na slici 6.12.



Slika 6.12. Defazifikacija fuzzy modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera ŽRS za transport robe

Rezultati i primjena modela mogu se koristiti kao alat u cilju poboljšanja efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera.

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA SA NAUČNIM DOPRINOSOM ISTRAŽIVANJA

7.1. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Željeznički sistem u Evropi nalazi se u ciklusu velikih promjena. Promjene se događaju u svim dijelovima saobraćajnog sistema, a najveći je u željezničkom sektoru i to na području organizacije preduzeća i položaja željeznice u saobraćajnom sistemu država. Imajući u vidu da je većina željezničkih uprava bila organizovana na nacionalnom nivou, a da su pri tome imali monopolski položaj na nacionalnom željezničkom tržištu, kao logično rješenje nametnulo se uvođenje jedinstvenog željezničkog tržišta i konkurencije na njemu. Evropska unija želi efikasniju željeznicu, koja nije sputana granicama država i koja će poslovati po principima tržišne ekonomije.

U odsustvu konkurencije na nacionalnim mrežama željeznička preduzeća nisu bila prinuđena na inicijativu smanjivanja svojih operativnih troškova i razvoja novih usluga. Tako, ova preduzeća nisu ostvarivala dovoljan prihod da pokriju sve troškove, pokrenu ili održe neophodne investicije. Zato su države bile prinuđene da to čine, ali u skladu sa mogućnostima i ekonomskom politikom. Kao rezultat ovakvog stanja javila se velika zaduženost željezničkih preduzeća, koja je imala negativan uticaj na njihov razvoj.

Otvaranjem željezničkog sektora tržišnoj konkurenciji željeznički operateri primorani su da se ponašaju kao i sva druga savremena preduzeća na drugim tržištima i u drugim industrijama, što znači da moraju konstantno razvijati i održavati konkurentske prednosti, odnosno da budu bolja od drugih. U današnjim konkurentske vrlo intenzivnim uslovima to je i najteže postići. Pred željezničkim operaterima je postavljen izazov koji podrazumjeva pronalaženje optimalnih rješenja da posluju efikasno i efektivno, da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da razviju i održavaju svoje konkurentske prednosti. Mjerenje i unaprijeđenje efikasnosti i efektivnosti rada željezničkog operatera je preduslov uspješnog poslovanja i opstanka na tržištu.

Efikasnost i efektivnost ima pozitivan uticaj na niz drugih važnih pokazatelja funkcionisanja željezničkih operatera poput boljeg korišćenja resursa, racionalnije potrošnje energije, povećanja bezbjednosti, povećanja kvaliteta usluge, itd.

Na osnovu stanja u literaturi i praksi, identifikovani su i raščlanjeni problemi efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Utvrđena je evidentna potreba za modelima ocjene

efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koji bi bili u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti.

Razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera zahtijevao je prethodni pregled i analizu željezničkih operatera i dostignuti stepen u procesu restrukturiranja željezničkog sektora u EU, regionu i BiH.

U skladu sa opsežnim istraživanjem sprovedenim u disertaciji jedan od prvih problema jeste pojava velikog broja kriterijuma koji utiču na efikasnost i efektivnost operatera. U procesu definisanja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti bilo je nužno definisati i vrednovati kriterijume koji utiču na efikasnost i efektivnost i ocjenu obima rada željezničkog operatera. Kriterijumi se biraju da se omogući sprovođenje ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. U svrhu definisanja i vrednovanja kriterijuma izvršeno je istraživanje najčešće korišćenih kriterijuma za efikasnost i efektivnost željezničkih preduzeća iz dostupne literature. Na osnovu sprovedenog istraživanja zaključeno je da se koristi veći broj kriterijuma. Preduslov za izbor kriterijuma je da se zadovolje sljedeći zahtjevi:

- da je omogućeno poređenje efikasnosti željezničkih operatera, bez obzira na postojeće razlike u veličini operatera i
- da vrijednosti kriterijuma sadrže prihvatljivu neodređenost, u vidu ukupne greške, čime se osigurava pouzdanost rezultata.

Na osnovu analize željezničkih operatera i pregleda literature iz ove oblasti identifikovani su kriterijumi za transport putnika i transport robe (ukupno po 21 kriterijum) koji su razvrstani u sljedeće grupe: kriterijumi resursa, finansijski kriterijumi, operativni kriterijumi (kriterijumi funkcionisanja), kriterijumi kvaliteta usluga i bezbjednosti.

Da bi se rješio problem vrednovanja i izbora prioriternih kriterijuma iz pojedinih grupa eksperimentisano je sa jednom od najpopularnijih metoda za donošenje odluka danas - Fazi Analitičko Hijerarhijski Proces (FAHP), a to potkrepljuju dosadašnja iskustva iz literature da ovakve probleme treba rješavati metodama višekriterijumskog odlučivanja i to iz sljedećih razloga:

- 1) Proces donošenja odluke uključuje proces učenja, debatovanja i revidiranja prioriteta i mogućnosti. Donosiocima odluke potrebno je vrijeme da bi razmislili, prikupili dodatne informacije, da bi pregovarali pošto se radi o grupnom odlučivanju različitih nivoa značajnosti. Sve to FAHP omogućuje.
- 2) Zbog više konfliktnih interesa proces odlučivanja kod izbora kriterijuma može da bude komplikovan i da dugo traje. FAHP pomaže i skraćuje proces odlučivanja kroz uvide koje ova metoda može da generiše.
- 3) FAHP ukazuje gdje su tačke najvećeg neslaganja i gdje je potrebno više informacija. Krećući se kroz proces, finalni rezultat može biti različit od prvobitnih nagovještaja, odnosno intuitivni stavovi mogu da budu promijenjeni poslije detaljnog razmatranja problema. FAHP treba i može da pomogne u prirodnom procesu donošenja odluke koji je načesto najuvjerljiviji.
- 4) FAHP, za razliku od drugih metoda, dozvoljava donosiocima odluke da prave greške prilikom definisanja preferencije. Ova metoda ne zahtijeva od donosilaca odluke da budu konzistentni, već obezbijeduje određenu mjeru nekonzistentnosti, kao i metod za smanjivanje te mjere ukoliko se smatra da je ona visoka.

Za izbor kriterijuma korišćeni su relevantni izvori ekspertskog znanja. U ocjenjivanju relativne važnosti pojedinih kriterijuma za svaku grupu učestvovali su menadžeri iz željezničkog sektora u BiH i ministarstava u BiH nadležnih za željeznicu. Oni su popunili anketu koja je data u Prilogu B u kojoj su ocijenili važnost svakog od kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije za svaku grupu.

Višekriterijumska analiza pet grupa kriterijuma, korišćenjem metode FAHP, pokazala je iz svake grupe kriterijume koji su prioritetni za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Kriterijumi koji su u kompozitnom normalizovanom rangju ostvarili prednost nad ostalim kriterijumima iz svoje grupe za željezničkog operatera za transport putnika su:

- iz grupe kriterijuma resursa najveću relativnu težinu ima raspoloživi broj voznih sredstava,
- iz grupe operativnih kriterijuma broj prevezenih putnika,
- iz grupe finansijskih kriterijuma troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture,
- iz grupe kvaliteta usluga pogodnost – sposobnost ponuđenih usluga i
- iz grupe kriterijuma bezbjednosti najveću relativnu težinu ima kriterijum broj ozbiljnih nesreća.

Za operatera za transport robe, kriterijum koji su ostvarili prednost su:

- iz grupe kriterijuma resursa najveću relativnu težinu ima raspoloživi broj voznih sredstava,
- iz grupe operativnih kriterijuma količina prevezene robe,
- iz grupe finansijskih kriterijuma troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture,
- iz grupe kvaliteta usluga, pouzdanost usluga - prekoračenje roka isporuke i
- iz grupe kriterijuma bezbjednosti najveću relativnu težinu ima kriterijum broj ozbiljnih nesreća.

Izabrani prioritetni kriterijumi iz svake grupe su korišćeni za razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Identifikovanjem i izborom kriterijuma pristupa se razvoju modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera u cilju rješavanja problema istraživanja. Razvijena je grupa inovativnih modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti i ocjenu obima rada željezničkih operatera.

Modeli razvijeni u ovoj disertaciji bazirani su na Analizi Obavijanja Podataka (eng. Data Envelopment Analysis) koja omogućuje poređenje efikasnosti uporedivih jedinica u ovom slučaju grupe operatera sa većim brojem ulaznih i izlaznih promjenljivih, i Fuzzy logike koja je pogodna za izražavanje neodređenosti i neizvesnosti i odlična je u onim modelima u kojima su intuicija i procjena primarni elementi kao što je slučaj u predmetu istraživanja ove disertacije. Razvijeni modeli omogućuju objedinjavanje grupe pokazatelja (resursa, operativnih, finansijskih, kvaliteta i bezbjednosti) u jedinstvenu ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera, a takođe omogućuju i pružanje informacija o korektivnim akcijama kojima se može unaprijediti efikasnost i efektivnost operatera.

Najčešće korišćena metoda za ocjenu efikasnosti u literaturi je Analiza obavijanja podataka ili DEA (Data Envelopment Analysis) metoda. Za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera odabrana je ova metoda iz razloga što omogućuje analizu međusobno uporedivih

jedinica uprkos heterogenim podacima koji se izražavaju različitim mjernim jedinicama i na različit način utiču na efikasnost poslovanja.

Ocjena efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport putnika obavljena je na osnovu ulaznih i izlaznih parametara i pomoću DEA excel solvera, koristeći modele CCR - izlazno usmjeren (model pretpostavlja konstantni prinos u odnosu na obim ulaganja i BCC - izlazno usmjeren model (model pretpostavlja promjenljivi prinos u odnosu na obim ulaganja). Modeli omogućuju potpunu fleksibilnost u izboru težina (kontribucija) ulaza i izlaza na čega svaka jedinica DMU postiže maksimalnu efikasnost prema nivou kriterijuma. Dakle, svakom operateru koji je obuhvaćen analizom, biće određena takva ulazno-izlazna orijentacija koja će iskazati njegovu najveću efikasnost uz ograničenje „odozgo“ koje definiše gornju granicu ≤ 1 . Željeznički operateri za transport putnika kao DMU bio je određen sa 4 ulaza i jednim izlazom kao što je prethodno određeno FAHP metodom. Prvi ulaz predstavlja raspoloživi broj vozničkih sredstava, drugi ulaz predstavlja troškove naknada koje željeznički operater plaća upravljaju infrastrukturu, treći ulaz predstavlja pogodnost operatera - sposobnost ponuđenih usluga i četvrti ulaz je broj ozbiljnih nesreća. Izlazna promjenljiva modela predstavlja ukupan broj prevezenih putnika.

Predloženi model je testiran i verifikovan kroz istraživanje sprovedeno na uzorku od 21 željezničkog operatera za transport putnika, a rezultati su prikazani u tabeli 5.10.

Izlazni rezultati su pokazali da postoje četiri željeznička operatera koji imaju CCR ocjene jednake 1. Ova ocjena mjeri ukupnu efikasnost kada se pretpostavi konstantni RTS. To su željeznički operateri ÖBB Personenverkehr AG, Société Nationale des Chemins de fer français Voyages, Deutsche Bahn DB Vertrieb GmbH i Association of Train Operating Companies Limited. Ovi željeznički operateri su efikasni i mogu se posmatrati kao realni i korisni benčmarkovi ostalim neefikasnim željezničkim operaterima. Dakle, operateri koji imaju dobru efikasnost pojavljuju se kao benčmarkovi, odnosno referentni skupovi za neefikasne operatere. Željeznički operater ÖBB je jedan od četiri operatera koji imaju najbolji rezultat. Osim togato je operater koji se najviše pojavljuje kao benčmark. Operateri koji imaju ocjenu ispod prosjeka (0,47619) smatraju se neefikasnim (poglavlje 6).

BCC ocjena mjeri efikasnost pod pretpostavkom promjenljivog RTS. U ovom empirijskom istraživanju, postoji sedam željezničkih operatera kojima je dodijeljen BCC efikasan status, pored već četiri operatera koji zadržavaju svoj prethodni efikasan status. Na primjer, može se zaključiti da željeznički operateri SNCB/NMBS, NS Reizigers i SBB-Passengers imaju efikasan rad, odnosno ($\theta_{BCC}^* = 1$). Dodatno, može se smatrati da svi željeznički operateri koji imaju BCC ocjenu iznad prosjeka imaju dobru efikasnost rada.

Na osnovu rezultata ocjene efikasnosti željezničkih operatera u okruženju može se zaključiti da su njihove ocjene ispod prosjeka CCR i BBC. Posmatrajući rezultate operatera u BiH i to ŽFBiH i ŽRS očigledno je da imaju najlošije rezultate efikasnosti u transportu putnika od operatera u okruženju. Na primjer benčmark za operatere u BiH je operater ÖBB Personenverkehr AG kako bi identifikovali svoju neefikasnost. Rezultati ukazuju da željeznički operateri za transport putnika u BiH moraju da podignu efikasnost na viši nivo kako bi bili konkurentni ostali željezničkim operaterima na transportnom tržištu.

Fuzzy logika, kao dio fuzzy sistema, koristi se kao alat koji preslikava ulaze u izlaze, a analitičke relacije između ulaza i izlaza nisu neophodne. Koristeći ovu osobinu Fuzzy logike razvijeni su modeli za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Prilikom

dizajniranja modela korišćeni su prethodno izabrani kriterijumi, odnosno ulazi i izlazi za model, definisani metodom FAHP (poglavlje 4.6.).

Za implementaciju razvijenih modela za ocjenu efikasnosti efektivnosti i ocjenu obima rada korišćen je računarski program Matlab, verzija 13a. U Matlab-u je napisan programski kod, čime je omogućeno testiranje i ocjena primjenljivosti razvijenih modela u obliku alata, koji se koristi prilikom sprovođenja ocjene efikasnosti željezničkih operatera. Posebna pogodnost korišćenja Matlab-a je da se definišu odgovarajući fazi brojevi za vrijednosti izabranih kriterijuma. Moguće je bilo da se primjene i operacije na definisanim fazi brojevima, u vidu fazi aritmetike ili sistema za zaključivanje, sa ciljem da se predlože mjere za unaprijeđenje efikasnosti operatera u funkciji konkurentne sposobnosti.

Za predstavljanje, tj. modelovanje neodređenosti, u ovom istraživanju koriste se fazi brojevi. Prema definiciji to su fazi skupovi koji zadovoljavaju tri osnovna uslova. Prvi, da je fazi skup normalan, drugi da je njegov interval zatvoren i treći da je fazi skup ograničen. Koriste se trougaoni i trapezoidni fazi brojevi, koji imaju prednost nad drugima, jer je njihova funkcija pripadnosti linearna, te su najjednostavniji. Fazi brojevima i fazi intervalima, u ovom istraživanju, predstavljaju se vrijednosti kriterijuma, jer sadrže neodređenost u vidu ukupne greške određene principima rasprostiranja greške, kao i klase efikasnosti sa nedefinisanim jasnim granicama među kvalitativnim stanjima.

Teorija fazi logike u sprovedenom istraživanju iskorišćena je i primjenom principa lingvističke varijable, tj. promjenljive čija su stanja izražena fazi brojevima za koje se vezuju lingvistički izrazi. Svaki kriterijum koji se koristi za ocjenu obima rada i ocjenu efikasnosti i efektivnosti, predstavlja lingvističku varijablu.

U sprovođenju metodologije u ovom istraživanju potrebno je da se iz rezultujućih fazi brojeva izračunaju realni brojevi, a to se postiže postupkom „defazifikacije”. Postoji više metoda za defazifikaciju fazi brojeva, a ovdje je korišćen metod centroid. Metod Centroid izračunava realan broj koji predstavlja centar površine ispod krive određene funkcijom pripadnosti.

U prvoj fazi razvijeni su fuzzy modeli za ocjenu obima rada željezničkog operatera, a nakon toga fuzzy modeli za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera. Razvijeni modeli testirani su na realnim primjerima, odnosno na primjeru željezničkog operatera ŽRS. Promjenljive veličine i njihove vrijednosti su identifikovane na osnovu analize željezničkog operatera ŽRS.

Rezultati koji su dobijeni testiranjem navedenih modela za ocjenu obima rada i ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera za transport putnika i transport robe odnose se na uticaj kriterijuma na izlazni rezultat modela. Kriterijum koji najviše utiče na izlazni rezultat modela za ocjenu obima rada operatera za transport putnika je broj prevezenih putnika, a za transport robe je količina prevezene robe, a vrijednosti izlaznih promjenljivih, odnosno ocjena imaju najveću vrijednost. Kriterijum koji najviše utiče na izlazni rezultat modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti za oba operatera i transporta putnika i transporta robe je dobit po zaposlenom.

Rezultati sprovedenog testiranja fuzzy modela prikazani su u poglavlju 6 i prilogu G ove disertacije. Za definisane slučajeve testiranja fuzzy modela dobijeni rezultati predloženih fuzzy modela za ocjenu obima rada i ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika i transport robe daju validne rezultate.

Na taj način primjenjeni fuzzy modeli pokazuju da tehnika fuzzy logike može efikasno da se primjeni i da daje dobre rezultate u ocjeni efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Univerzalnost razvijenih modela ogleđa su mogućnosti primjene kod svih željezničkih operatera u cilju ocjene efikasnosti i efektivnosti.

Svi modeli koji su projektovani u okviru ove disertacije u velikoj mjeri mogu pomoći procesu restrukturiranja željezničkog sistema u BiH koji bi bio u funkciji povećanja konkurentskih sposobnosti željezničkih operatera.

Možemo da konstatujemo da su sve četiri postavljene osnovne hipoteze tokom izrade disertacije potvrđene. Prema prvoj postavljenoj hipotezi jedan od osnovnih ciljeva svakog željezničkog operatera je da posluje efikasno i efektivno. U ovoj disertaciji su razvijeni modeli za ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera u cilju povećanja konkurentskih sposobnosti željezničkih operatera. Sama identifikacija i kvantifikacija kriterijuma pokazala je stabilnost hipoteze, a rezultati dobijeni na osnovu eksperimenata potvrdili su da istraživani parametri bitno definišu i utiču na utvrđivanje pozicije operatera na transportnom tržištu. Praćenje efikasnosti predstavlja kompleksan, a ujedno i težak zadatak za svakog željezničkog operatera zbog pojave velikog broja kriterijuma. Na osnovu analize dostupne literature i slučajeva iz prakse rezultati istraživanja potvrđuju i drugu istraživačku hipotezu o velikom broju kriterijuma. Na osnovu detaljno analiziranog stanja u oblasti istraživanja može izvesti zaključak da metodološki postupak izbora ključnih kriterijuma za vrednovanje efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera nije dovoljno istražena. Rezultati istraživanja potvrđuju i ovu hipotezu. Prema četvrtoj postavljenoj hipotezi jedan od osnovnih ciljeva svakog željezničkog operatera je što veći prihod, veći kvalitet i što veći broj realizovanih usluga uz minimalne troškove poslovanja, što rezultati istraživanja i potvrđuju. Obim rada predstavlja rezultat funkcionisanja operatera i od njega zavisi i profit operatera. U ovoj disertaciji je analizirana ocjena obima rada operatera i ocjena efikasnosti i efektivnosti u funkciji različitih kriterijuma. U prvom primjeru testirani su razvijeni fuzzy modeli za ocjenu obima rada operatera za transport putnika i ispitan je uticaj ulaznih promjenljivih na ocjenu obima rada. U drugom primjeru testirani su razvijeni modeli za ocjenu efikasnosti i efektivnosti i ispitan je uticaj ulaznih promjenljivih na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera. Na osnovu rezultata istraživanja može se zaključiti da je i ova hipoteza potvrđena, odnosno povećanje prihoda, kvaliteta i obima usluga i smanjenje troškova poslovanja samih operatera može se unaprijediti primjenom odgovarajućeg modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti.

7.2. NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA

Naučni doprinos disertacije se ogleđa u razvijenim modelima koji prevazilaze nedostatke u literaturi za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Drugim rječima naučni doprinos se ogleđa u novom pristupu ocjeni efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koji je obuhvatio:

- Identifikaciju relevantnih kriterijuma za razvoj modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koja je izvršena na osnovu analize željezničkih operatera i pregledom literature;
- Kvantifikaciju relevantnih kriterijuma vrednovanja modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera primjenom teorije “fuzzy“ skupova;

- Izradu metodologije vrednovanja kriterijuma za modele ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera koja predstavlja hibridni model baziran na teoriji “fuzzy“ skupova i teoriji višekriterijumskog odlučivanja;
- Identifikovanje i kvantifikovanje kriterijuma višekriterijumskim odlučivanjem koji se odnose na efikasnost i efektivnost željezničkih operatera;
- Razvoj DEA modela za ocjenu efikasnosti željezničkih operatera koji je testiran i verifikovan na studiji slučaja u kojoj se analizirao 21 željeznički operater iz zemalja EU, zemalja srednje i istočne Evrope i BiH;
- Razvoj fazi modela za ocjenu obima rada željezničkog operatera za transport putnika i robe koji omogućuju pružanje informacija o korektivnim akcijama kojima se može unaprijediti obim rada operatera;
- Razvoj fazi modela za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika i robe koji omogućuju pružanje informacija o korektivnim akcijama kojima se može unaprijediti efikasnost i efektivnost operatera u cilju povećanja konkurentne sposobnosti na transportnom tržištu;
- Istraživanja na razvijenom pristupu ocjene efikasnosti i efektivnosti čime je izvršena njihova verifikacija na konkretnom primjeru, odnosno željezničkom operateru ŽRS i izabranim operaterima iz Evrope.

7.3. PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Disertacija otvara mogućnost daljih pravaca istraživanja u užoj naučnoj oblasti koji mogu da budu:

- Identifikovanje novih kriterijuma koji mogu da utiču na redefinisane razvijenih modela kvantifikacije i vrednovanja u ovoj disertaciji;
- Istraživanje drugih metoda kvantifikacije kriterijuma primjenom različitih tehnika mekog računa (eng. Soft Computing), odnosno vještačke inteligencije koje uspješno tretiraju razne vrste neizvjesnosti i nepreciznosti (neuronske mreže, genetski algoritmi) i sl.;
- Razvoj novih modela koji će uključiti nove kriterijume;
- Razvoj novih modela koji bi kombinovali predloženi pristup sa drugim pristupima poput simulacije, optimizacionih modela i dr.

Na taj način bi se prevazišla određena ograničenja i unaprijedio proces ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

LITERATURA

- Adler N., Friedman L., Sinuany-Stern Z., Review of ranking methods in the data envelopment analysis context, *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, No. 2, pp 249-265, 2002.
- Afriat S.N., Efficiency estimation of production functions, *International Economic Review*, Vol. 13, No. 3, pp 568-598, 1972.
- Ali A.I., Lerme C.S., Seiford L.M., Components of efficiency evaluation in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, No. 3, pp 462-473., 1995.
- Andersen P., Petersen N.C., A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis, *Management Science*, Vol. 39, No. 10, pp 1261-1264, 1993.
- Andrejić M., Bojović N., Kilibarda M., Benchmarking distribution centres using principal component analysis and data envelopment analysis: a case study of Serbia. *Exp. Syst. Appl.* 40, 3926-3933, 2013.
- Andriulo S., Gnoni M.G., Measuring the effectiveness of a near-miss management system: An application in an automotive firm supplier, *Reliability Engineering and System Safety* 132, pp 154-162, August 2014.
- Azadeh A., Salehi V., Modeling and optimizing efficiency gap between managers and operators in integrated resilient systems, *Process Safety and Environmental Protection* 92, pp 766-778, 2014.
- Banaszewska A., Cruijssen F., Dullaert W., Gerdessen C., A framework for measuring efficiency levels - The case of express depots, *International Journal of Production Economics*, 139 (2), 484-495, 2012.
- Banker R.D, Charnes A., Cooper W.W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp 1078-1092, 1984.
- Banker R.D., Chang H., The super-efficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units, *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, No. 2, pp 1311-1320, 2006.
- Banker R.D., Estimating most productive scale size using data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 17, No. 1, pp 35-44, 1984.
- Banker R.D., Thrall R.M., Estimation of returns to scale using data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 62, No. 1, pp 74-84., 1992.
- Banos-Pino J., Fernandez-Blanco V., Rodriguez-Alvarez A., The allocative efficiency measure by means of a distance function: The case of Spanish public railways, *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, No. 1, pp 191-205, 2002.

- Barbot C., Costa A., Sochirca E., Airlines performance in the new market context, A comparative productivity and efficiency analysis, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 14, pp 270-274, 2008.
- Barr R.S., DEA Software Tools and Technology, A State-of-the-Art Survey, in Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu, J., ed., *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publisher, Boston, 2004.
- Beljaković D., Optimizacija organizacione strukture graditeljskog projekta primenom ekspertnog fazi sistema, *Doktorska disertacija*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2012.
- Blagojević A., Bošković B., Kuravica M., Okolić S., Simulacija rezultata poslovanja željezničkih preduzeća za različite visine naknada za infrastrukturu, *Zbornik radova III Međunarodni simpozijum Novi horizonti saobraćaja i komunikacija*, Doboj, Bosna i Hercegovina, 2011.
- Blagojević A., Bošković B., Okolić S., Simulacioni model bilansa poslovanja kompanije kod uvođenja naknada za korišćenje željezničke infrastrukture, *Zbornik radova Prvi BiH kongres o željeznicama*, Sarajevo, Bosna i Hercegovina, 2011.
- Blagojević A., Izbor modela i određivanje elemenata u modelu za proračun naknada korišćenja željezničke infrastrukture u BiH, *magistarski rad*, Saobraćajni fakultet, Doboj, 2011.
- Blagojević A., Okolić S., Sarić Z., Simulacija uticaja naknada za korišćenje željezničke infrastrukture na poslovanje Željeznica Republike Srpske, *Zbornik radova naučno - stručne konferencije o železnici "ŽELKON'10"*, ISBN 978-86-6055-007-3, pp 227-230, CD izdanje, Niš, 2010.
- Boender C.G.E., De Graan J.G., Lootsma F.A., Multiple-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons, *Fuzzy Sets and Systems* 29, pp 133-143, 1989.
- Bogart D., Chaudhary L., Engines of Growth, The Productivity Advance of Indian Railways, 1874-1912, (Joint with Latika Chaudhary), *Journal of Economic History* 73, pp 339-370, 2013.
- Borenstein D., Becker J.L., Jose do Prado, V., Measuring the efficiency of Brazilian post office stores using data envelopment analysis, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 24, No. 10, pp 1055-1078, 2004.
- Bottani E., Rizzi A., A fuzzy multi-attribute framework for supplier selection in an e-procurement environment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 8(3), 249-266, 2005.
- Boussofiane A., Dyson R. G., Thanassoulis E., Applied data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research* 52, pp 1-15, 1991.
- Brons M., Rietveld P., How to Measure Travel Time Unreliability from the Rail Passenger Perspective? VU University, Amsterdam, Mimeo, 2011.
- Buckley J., Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), pp 233-247, 1985.
- Cantos P., Pastor J.M., Serrano L., Evaluating European railway deregulation using different approaches, *Transport Policy*, Elsevier, Vol. 24(C), pp 67-72, 2012.

- Cantos P., Pastor J.M., Serrano L., Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and its Effects on Productivity, *Journal of Transport Economics and Policy* 44, Part 2, pp 139-160, 2010.
- Cebi F., Bayraktar D., An integrated approach for supplier selection, *Logistics Information Management*, 16(6), pp 395-400, 2003.
- Cebon P., Samson D., Using real time information for transport effectiveness in cities, Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, *City, Culture and Society* 2, pp 201-210, 2011.
- CER, UIC, CIT, Freight Quality Charter, Rome, July 2003
- Chang C. W., Wu C. R., Lin H. L., Applying fuzzy hierarchy multiple attributes to construct an expert decision making process, *Expert Systems with Applications*, 36(4), pp 7363-7368, 2009.
- Chang D.A.Y., Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95(3), pp 649-655, 1996.
- Chang D.A.Y., Extent analysis and synthetic decision, *Optimization Techniques and Applications*, 1, pp 352-355, 1992.
- Charnes A., Cooper W.W., Golany B., Seiford L.M., Stutz J., Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production function, *Journal of Econometrics*, Vol. 30, No. 1-2, pp 91-107, 1985.
- Charnes A., Cooper W.W., Huang Z., Sun B., Polyhedral cone-ratio models with an application to large commercial banks, *Journal of Econometrics*, Vol. 46, No. 1-2, pp 73-91, 1990.
- Charnes A., Cooper W.W., Lewin, Y., Seiford L.M., *Data Envelopment Analysis, Theory, Methodology and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994.
- Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E., Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp 429-444, 1978.
- Cheng C.H., Evaluating weaponsystems using ranking fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, 107(1), pp 25-35, 1999.
- Čičak M., Modeliranje u železničkom saobraćaju, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beograd i ŽELNID, Beograd, 2003.
- Čičak M., Vesković S., Mladenović S., Vučinić N., The capacity of railway infrastructure in relation to quality, *Scientific Conference TRANSCOM*, Žilina, Slovak Republic, pp 9-19, 1998.
- Čičak M., Vesković S., Simulation models for establishing the railway infrastructure capacity, *World congress on railway research WCRR '99*, Tokyo, Japan, 19-23.10.1999.
- Čičak M., Vesković S., Organizacija železničkog saobraćaja II, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2005.
- Cobb C.W., Douglas P.H., A theory of production, *American Economic Review*, Vol. 18, No. 1, pp 139-165, 1928.

- Cook C., Carter B., Hockings M., Measuring the accuracy of management effectiveness evaluations of protected areas, *Journal of Environmental Management* 139, pp 164-171, 2014.
- Cooper W.W., Park K.S., Yu G., IDEA and AR-IDEA, Models for dealing with imprecise data in DEA, *Management Science*, Vol. 45, No. 4, pp 597-607, 1999.
- Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K., *Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2nd ed., Springer, New York, 2007.
- Costa A., Ebert S., Stanislau T., Impact analysis of managerial decisions on the overall performance of a public transport operator, the case of STCP, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 111, pp 410-423, 2014.
- COWI, Regional Balkans Infrastructure Study - Transport: Final Report, The REBIS report funded by the CARDS Program, European Union, 2003.
- Debreu G., The coefficient of resource utilization, *Econometrica*, Vol. 19, No. 3, pp 273-292, 1951.
- Dimanoski K., Stojić G., Vesković S., Tepić J., Marketing Research of Railway Passenger Service Quality, *Mechanics, Transport, Communications, Academic journal*, Issue 3, article No. 0558, pp III.61-67, ISSN 1312-3823, Sofia, Bulgaria, 2011.
- Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 amending Council Directive 91/440/EEC on the development of the Community's railways.
- Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council Directive of 21 November 2012 establishing a single European railway area (recast).
- Dmitry P., An efficiency analysis of European Countries Railways, Retrieved from <http://www.researchgate.net/publication/46445113>, 2008.
- Do Q. H., Chen J. F., Prioritizing the Factor Weights Affecting Tourism Performance by FAHP, *International Journal of Engineering Business Management*, 5, pp 1-10, 2013.
- Dragojlović A., Ralević P., Đurić D., Vidojević D., Dobrodolac M., Measuring Tax Administration Service Levels By Using DEA, *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, Vol. 48, No. 1, pp 293-307, 2014.
- Ehrmann T., *Restrukturierungszwänge und Unternehmenskontrolle-Das Beispiel Eisenbahn*, Deutsche Universitäts-Verlag GmbH, Wiesbaden, 2001.
- Eichinger A., Integrated European Rail Freight Area: Interim Results and Review of the First Steps, *Northwestern University Conference on Rail Economics*, September, 2004.
- European Commission, White Paper - European Transport Policy for 2010, Time to Decide, Luxembourg, September 12, 2001.
- European Commission, White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area—Towards a competitive and resource efficient transport system, March 28, 2011.
- European Commission/World Bank Office for Southeast Europe Annual Report 2003, Brussels, December, 2004.
- European Railway Technical Strategy, *European Rail Infrastructure Management Managers*, September 2008.

- Färe R., C.A. Knox Lovell, Measuring the Technical Efficiency, *Journal of Economic Theory* 19 (1), pp 150-162, 1978.
- Färe R., Grosskopf S., Lovell C.A.K., *Production Frontiers*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994a.
- Färe R., Grosskopf S., Lovell C.A.K., *The Measurement of Efficiency of Production*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1985.
- Färe R., Grosskopf S., Norris M., Zhang Z., Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries, *The American Economic Review*, Vol. 84, No. 1, pp 66-83, 1994b.
- Farrell M.J., The measurement of productive efficiency, *Journal of Royal Statistical Society A*, Vol. 120, No. 3, pp 253-290, 1957.
- Freight Quality Charter, Rome, July 2003.
- Friebel G., Ivaldi M., Vibes C., Railway (De) regulation, A European efficiency comparison, *Economica* 77, pp 77-91, 2010.
- Garcia-Cebrian L.I., Jorge-Moreno J., Measuring of production efficiency in the European railways, *European Business Review*, Vol.99 No. 5, 1999.
- Gattoufi S., Oral M., Reisman A., A taxonomy for data envelopment analysis, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 38, No. 2-3, pp 141-158, 2004.
- Golam Kabir M., Ahsan Akhtar Hasin., Evaluation of customer oriented success factors in mobile commerce using fuzzy AHP, *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 4, No. 2, 2011.
- Golany B., Roll Y., An application procedure for DEA, *Omega*, *International Journal of Management Science*, Vol. 17, No. 3, pp 237-250, 1989.
- Golden B.L., *The Analytic Hierarchy Process, Applications and Studies*, SpringerVerlag, New York, 1989.
- Hansen I.A., Wiggensraad P.B.L., Wolff J.W., Benchmark Analysis of Railway Networks and Undertakings, *International seminar on railway operations modelling and analysis*, Copenhagen, IAROR, pp 1-20, 2013.
- Holmgren J., The efficiency of public transport operations, An evaluation using Stochastic Frontier Analysis, *Research in Transportation Economics*, Vol. 39, pp 50-57, 2013.
- Hus T.H., Yang, T.H., Application of fuzzy analytic hierarch process in the selection of advertising media, *Journal of Management and Systems*, 7(1), pp 19-39, 2000.
- International Transport Forum, *Railway Efficiency*, Discussion Paper No. 2013-12, May, 2013.
- International Transport Forum, *What is Rail Efficiency and How Can it Be Changed*, Discussion Paper No. 2014-23, February, 2014.
- Isabello A., Pensa S., Arnone M., Rosa A., Reviewing efficiency and effectiveness of interurban public transport services, A practical experience, *ScienceDirect, Transportation Research Procedia* 1, pp 243-252, 2014.
- Jablonsky J., Multicriteria approaches for ranking of efficient units in DEA models, *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 20, No. 3, pp 435-449, 2012.

- Jerkins L., Anderson M., A multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 47, No. 1, pp 51-61, 2003.
- Jianjun Wang., The Research on Efficiency and Effectiveness of Rail Transport, *IERI Procedia* 3, pp 126-130, 2012.
- Kahraman C., Ruan D., Tolga E., Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows, *Information sciences*, 142(1-4), pp 57-76, 2002.
- Kessides I.N. and Willig R.D., Restructuring Regulation of the Rail Industry for the Public Interest, In *OECD Railways, Structure, regulation and competition policy*, Committee on Competition Law and Policy, Paris, OECD, 1998.
- Kilinc O., Onal S., Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company, *Expert Systems with Applications* 38, pp 9656-9664, 2011.
- Kleine A., A general model framework for DEA, *Omega, International Journal of Management Science*, Vol. 32, No. 1, pp 17-23., 2004.
- Klopp G., The Analysis of the Efficiency of Production System with Multiple Inputs and Outputs, PhD thesis, University of Illinois at Chicago, Industrial and Systems Engineering College, Chicago, 1985.
- Koopmans T.C., An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities, in T.C., Koopmans, (Eds.), *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics Monograph No. 13, John Wiley and Sons, New York, 1951.
- Kopicki R., Thompson S., Best Methods of Railway Restructuring and privatization, CFS discussion paper series, number 111, August 1995.
- Krueger H., Parametric modeling in rail capacity planning, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 1999.
- Lan-Bing Li, Jin-Li Hu, Efficiency and productivity of the Chinese railway system, Application of a multi-stage framework, *African Journal of Business Management* Vol. 5(22), pp 8789-8803, 2011.
- Li S., Jahanshahloo G.R., Khodabakhshi M., A super-efficiency model for ranking efficient units in data envelopment analysis, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 184, No. 2, pp 638-648, 2007.
- Link H., Rail Restructuring in Germany – 8 Years Later, *Japan Railway & Transport Review* 34, March, 2003.
- Lious T. S., Wang, M. J. J., Ranking fuzzy numbers with integral value, *Fuzzy Sets and Systems*, 50, pp 247-255, 1992.
- Mandić D., Kecman P., Promene u tehnologiji prevoza robe i putnika železnicom kao posledica restrukturiranja, "Novi horizonti saobraćaja i komunikacija", ISBN 978-99955-36-3, pp 183-188, CD izdanje, Doboj, 2009.
- Markham J., The European railways perspective, *World Transport Policy & Practice*, Vol. 1 No. 2, pp 28-33, 1995.
- May G.H., *Transport in Europe, Where are we going?*, Emerald Group Publishing Limited, Vol. 7 No. 6, 2005.

- Merkert R., Williams G., Determinants of European PSO airline efficiency, Evidence from a semi-parametric approach, *Journal of Air Transport Management*, 29, pp 11-16, 2013.
- Mieko N., Page J.M., Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia, *Economic Journal* 92, pp 920-936, 1982.
- Mikhailov L., Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises, *Omega, International Journal of Management Science* Vol. 30 No. 5, pp 393-401, 2002.
- Ming-Miin Y., Lin E.T.J., Efficiency and effectiveness in railway performance using multi-activity network DEA model. *Omega, International Journal of Management Science*, Vol. 36, No. 6, pp 1005-1017, 2008.
- Morgan C., Structure, speed and salience, performance measurement in the supply chain, *Business Process Management Journal*, Vol. 10, No. 5, pp 522-536, 2004.
- Nash Chris., Cesar Rivera-Trujillo, Rail regulatory reform in Europe - principles and practice, Paper presented at the STELLA Focus Group 5 synthesis meeting, Athens, June 2004.
- Nilsson J.E., Restructuring Sweden's railways, The unintentional deregulation, *Swedish Economic Policy Review* 9, pp 229-254, 2002.
- Ohnell S., Woxenius J., An industry analysis of express freight from a European railway perspective, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 33, No. 8, 2003.
- Petukhov I., Steshina L., Training Personalization for Operators of Complex Equipment, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 186, pp 1240-1247, 2015.
- Ralević P., Dobrodolac M., Marković D., Matthias F., Stability of the classifications of returns to scale in data envelopment analysis, A case study of the set of public postal operators, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 11, No. 8, pp 177-196, 2014.
- Ralević P., Dobrodolac M., Marković D., Using a nonparametric technique to measure the cost efficiency of postal delivery branches, *Central European Journal of Operations Research*, DOI: 10.1007/s10100-014-0369-0, 2014.
- Ralević P., Model optimizacije resursa javnog poštanskog operatora baziran na merenju efikasnosti pružanja poštanskih usluga, *Doktorska disertacija*, Saobraćajni fakultet, Beograd 2014.
- Ramaekers P., de Wit T., Pouwels M., Hoe druk is het nu werkelijk op het Nederlandse spoor? CBS, The Netherlands, 2009.
- Regulation (EC) No. 1370/2007 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on public passenger transport services by rail and by road and repealing Council Regulations (EEC) Nos 1191/69 and 1107/70, 2007.
- Regulation (EC) No. 1371/2007 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on rail passengers' rights and obligations, 2007.
- Saaty, T. L., Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science* 32, pp 841-855, 1986.

- Sanchez P., Villarova J., Efficiency, Technical Change and Productivity in the European Rail. Sector, A Stochastic Frontier Approach, *International Journal of Transport Economics*, Vol. XXVII, No. 1, pp 55-76, 2000.
- Savova L., Тенденции в развитието на европейското законодателство за оперативна съвместимост в областта на железопътния транспорт, *TAIEX Conference*, Sofia 2008.
- Seiford L.M., Zhu J., An investigation of returns to scale under data envelopment analysis, *Omega: International Journal of Management Science*, Vol. 27, No. 1, pp 1-11, 1999a.
- Seiford L.M., Zhu J., Sensitivity and stability of the classification of returns to scale in data envelopment analysis, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 12, No. 1, pp 55-75, 1999b.
- Shahid M., Whisson J., Effectiveness of the Tees Valley Food Hygiene Award Scheme towards Food Business Operators and Consumers in the Middleborough District, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 49, pp 368-380, 2012.
- Shaw J., Competition in the UK passenger railway industry, Prospects and problems, *Transport Reviews* Vol. 21, No. 2, 2001.
- Shephard R.W., *Cost and Production Functions*, Princeton University Press, Princeton, 1953.
- Shephard R.W., *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press, Princeton, 1970.
- Sremac S., Model za upravljanje tokovima robe u transportno-skladišnim procesima, *Doktorska disertacija*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.
- Srinivas T., Kyo K.M., Tobias S., The relationship between operating efficiency and service quality, are they compatible, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, pp 2548-2567, 2013.
- Stojić G., Razvoj modela za vrednovanje načina upravljanja železničkom infrastrukturom, *Doktorska disertacija*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, 2010.
- Stojić G., Tanackov I., Vesković S., Milinković S., Simić D., Modeling and evaluation of railway reform using fuzzy logic, *IDEAL'09 Proceedings of the 10th international conference on Intelligent data engineering and automated learning*, Pages 695-702, table of contents ISBN:3-642-04393-3 978-3-642-04393-2, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2009.
- Thatcher M., Analysing regulatory reform in Europe, *Journal of European Public Policy*, Vol. 9, No. 6, December 01, 2002.
- Thompson R.G., Singleton R.D., Thrall R.M., Smith B.A., Comparative site evaluations for locating a high energy physics laboratory in Texas, *Interfaces*, Vol. 16, No. 6, pp 35-49, 1986.
- Tulkens H., Vanden Eeckaut P., Nonparametric efficiency, progress and regress measures for panel data, *Methodological aspects*, *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, No. 3, pp 474-499, 1995.
- UIC, *Activities Report: Paris. 2010, 2011, 2012, 2013, 2014.*
- UIC, *UIC Rail Plan: Scenario, Strategy, Action, Paris, 1997.*

- Van Laarhoven P.J.M., Pedrcyz W., A fuzzy extension of Saaty's priority theory, *Fuzzy Sets and Systems* 11, pp 229-241, 1983.
- Vešović V., Bojović N., Analytic Hierarchy Model of the Selection of an Optimal Organization Variant, *Yugoslav Journal of Operation Research* 6, pp 101-112, 1996.
- White Paper, A strategy for revitalising the Community's railways, COM 421, 1996.
- Wiegmans B., Donders A.R., Benchmarking European Rail Freight Transport Companies, *Transportation journal* (Arlington, American Society of Transportation and Logistics), Vol. 46, No. 2, pp 19-34, 2007.
- Wolff E.N., Productivity Measurement within an Input-Output Framework, *Regional Science & Urban Economics* 24(1), pp 75-92, 1994.
- World Bank, Public Expenditure Policies in South Eastern Europe, September, 2005, World Bank Report No. 33400-ECA, 2005h.
- Yvrande-Billon A., Franchising Public Services-An Analysis of the Duration of Passenger Rail Franchises in Great Britain, 2003.
- Zadeh L.A., Fuzzy logic-computing with words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 4(2), pp 103-111, 1996.
- Zadeh L.A., Fuzzy sets and systems, In *System Theory*, ed. Fox J, ch. 12, 29-37. Polytechnik Press, Brooklyn, NY, SAD, 1965b.
- Zadeh L.A., Fuzzy sets, *Information and Control* 8(3), pp 338-353, 1965.
- Zadeh L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning II, *Information Science* 8(4), pp 301-357, 1975b.
- Zadeh L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning I, *Information Science* 8(3), pp 199-249, 1975a.
- Zadeh L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning III, *Information Science* 9(1), pp 43-80, 1975c.
- Zhan C., Juan Z., Xiao G., Do contractual practices affect technical efficiency? Evidence from public transport operators in China, *Transportation Research Part E* 80 pp 39-55, 2015.
- Zhu J., *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking, Data Envelopment Analysis with Spreadsheets and DEA Excel Solver*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.
- Zhu J., *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking Data Envelopment Analysis with Spreadsheets Second*, 2008.
- Zimmermann H.J., *Fuzzy set, decision making and expert system*, Boston, Kluwer Academic Publishers, 1987.

PRIOLOG A

A.1 Uporedni pregled karakteristika mreže i pokazatelja rada zemalja (Tabela A1)

Zemlja (EU - Inozemstvo)	Ukupni podaci				Domeni prisostvo		Domeni (mil.)	Podaci o operativnoj mreži i radu mreže											Karakteristike				Država						
	Površina (km ²)	Pre. mrežice	Gustoća mrežice (1/km ²)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Ukupni broj domena			Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Broj operativnih mreža	Broj operativnih mreža po stanovniku (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Domeni dostupni za korisnike (mil.)	Karakteristike				Domeni dostupni za korisnike (mil.)					
					mil.	mil.														mil.	mil.	mil.			mil.	mil.	mil.	mil.	
1. Austrija	83.85	1.765.007	21	2.526	78.071	78.761	1995	5,78	4,975	1	1.626	10.111	15	22	22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Austrija
2. Belgija	30.528	11.943.534	391	22.375	188.221	230.297	1995	5,21	16,762	14	6.992	6.188	42	16	21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Belgija
3. Danska	43.094	5.671.996	130	2.649	54.497	22.366	1975	15,28			10.026	10.000	6	6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Danska
4. Njemačka	357.388	82.273.888	230	23.281	426.688	77.272	1995	30,18	222,026	1	79.721	88.722	42	18	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Njemačka
5. Francuska	643.801	64.711.141	119	21.891	286.728	22.798	1995	28,28	40.020	1	30.507	42.111	26	18	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Francuska
6. Italija	301.338	11.668.227	38	26.261	222.028	248.528	1995	1,91	6,128	1	15.536	4.681																	Italija
7. Švicarska	41.285	7.912.848	194	27.081	136.602	162.728		1,94	29.640	1	11.072	9.728	20	22	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Švicarska
ZEMLJE OSNOVNE EUROPE																													
8. Rumunija	238.391	23.248.000	111	6.921				6,91	1,560	4	38	36																	Rumunija
9. Slovačka	49.087	5.441.000	11	1.668				1,91	1,620	1																			Slovačka
10. Španjolska	505.992	45.741.208	61	6.121	16.881	19.928	2001	6,91	6,880	4	2.902	3.220	11	6	6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Španjolska
11. Mađarska	93.028	10.401.000	108	12.021	76.881	76.882	2008	15,27	48.288	1	12.982	10.728	16	21	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Mađarska
12. Poljska	312.678	38.121.000	61	7.981				1,12																					Poljska
13. Portugal	92.091	10.911.000	121	12.181	67.721	79.908	2008	19,22	122.081	1	11.107	47.628	16	1	6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Portugal
14. Grčka	131.958	11.228.000	91	1.181	18.881	22.028	2004	18,24	28.881	1	7.981	11.000	6	1	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Grčka
15. Slovenija	20.278	2.068.000	119	10.721	10.881	10.881	2004	1,91	17.042	1	2.118	1.311	17	21	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Slovenija
16. Hrvatska	56.538	4.511.000	118	2.207				1,94			1.618	2.028																	Hrvatska
17. Estonija	45.248	1.311.000	11	1.607				1,94																					Estonija
18. Litvanija	65.201	3.211.000	11	1.607				1,94																					Litvanija
19. Latvija	64.589	2.911.000	11	1.607				1,94																					Latvija
20. Srbija	77.672	77.672.000	11	1.607				1,94																					Srbija
21. Crna Gora	13.281	1.328.000	11	1.607				1,94																					Crna Gora
22. BiH	51.129	11.229.000	11	1.607				1,94																					BiH

A.2 Uporedni pregled željezničkih operatera (Tabela A2)

Država	željeznički operater	Stadion mreže			Broj vozova/voznika				Broj stanica/kilometar	Vreme performansi			Operativni pokazatelji			
		Ukupno	dvostrukoputni pruga i dvostrukoputna	jednokratna	lokomotive	materijal vozova	povratna kola	teretna kola		vreme kilodan	vreme kilometar	vreme voznika/kilometar	Putnici		Teret	
													prevozna prometa milijun	putnički kilometar	prevozna tona milijun	putnički kilometar
Austrija	ÖBB	91	-	-	84	26	19	48	0,6	2	1600	-	0,2	134	0,2	5
	ÖBB	4.367	2.868	3.327	1.109	401	2.830	18.244	41	123	68.113	233	10.667	99	18.003	
	W&A Cargo	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	2	799	-	-	
Belgija	NMBS/SNMBC	1.574	7.440	1.400	376	613	3.143	11.613	30	69	19.968	259	16.948	33	8.438	
	BBE CARGO	4.023	800	2.361	207	-	-	1.893	6	9	3.121	-	-	6	1.778	
	BBE PP	-	-	-	198	81	507	-	0	21	3.779	25	1.762	-	-	
Brazila	BBR	-	-	-	34	-	-	413	6,3	1	1.424	-	-	-	794	
	BOLMARIKUI	-	-	-	34	-	-	237	0,1	0,3	123	-	-	0,3	123	
	CFE CARIKUI	2.884	313	978	187	-	-	3.978	2	6	4.127	-	-	14	2.119	
Čehija	ČD	9.456	1.942	3.212	1.496	1.029	4.383	25.940	23	191	43.251	179	6.952	87	8.871	
	ČD	30.613	17.972	15.748	2.294	3.162	17.267	15.017	146	449	296.858	1.122	83.914	61	32.012	
	DB AG	33.428	18.201	19.098	4.131	12.388	19.313	91.787	206	429	379.441	2.023	99.246	221	74.818	
Italija	FLVO	-	-	-	10	-	-	-	0,1	0,4	543	-	-	1,3	243	
	GRUPPI CARGO	-	-	-	-	-	-	40	0,2	1	1.684	-	-	3	431	
	GRUPPI RIDE	398	14	316	44	22	303	-	0	6	1.060	8	398	-	-	
Njemačka	DB	1.344	1.188	2.096	919	240	2.396	-	36	61	23.092	111	3.493	-	-	
	NS	3.010	-	2.107	43	2.373	3.899	-	6	119	33.393	346	17.018	-	-	
	PRP	18.942	8.316	11.378	2.973	1.023	6.712	84.274	168	427	86.818	148	11.869	126	10.017	
Španija	REN	10.770	7.400	4.209	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	
	REN CARGO	-	-	-	793	206	2.391	-	13	30	9.654	56	4.528	-	-	
	REN MARFA	-	-	-	808	-	-	32.246	6	10	11.845	-	-	36	8.327	
	CFV	-	-	-	26	-	-	219	0,2	0,3	292	-	-	1	632	
	GRB	-	-	-	219	-	-	3.812	0	6	7.862	-	-	14	3.548	
Švedska	TTX	-	-	-	64	-	-	336	0,1	1	694	-	-	1	119	
	SRK	1.630	1.204	1.383	318	377	1.769	-	6	31	4.824	45	3.261	-	-	
	SRK CARGO	-	-	-	431	1	-	17.086	6	0	12.446	-	-	36	6.888	
UK	ATOC	243	64	209	244	10.808	32.208	-	49	624	22.401	1.862	99.176	-	-	
	NS	1.288	310	360	123	223	322	8.148	6	18	8.126	13	696	11	2.847	
	DB S	478	140	474	96	332	333	-	0	13	-	89	936	-	-	
Francuska	DB S Cargo	-	-	-	84	-	-	-	0,1	3	6.054	-	-	4	1.023	
	REN CFE PPB	1.171	1.742	3.171	1.208	161	4.176	8.308	33	179	-	421	17.476	46	6.206	
	REN	423	-	53	-	68	68	537	2	1	142	3	32	16	86	
Bosna i Hercegovina	ZFBH	684	68	440	87	8	71	2.128	6	3	1.868	6,4	22	6	887	
	ZRS	438	24	318	11	11	60	2.428	0	2	52	0,3	13	0	423	
	MCT	998	-	314	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
Črna Gora	MCT	-	-	-	13	10	48	1.011	1	2	844	3	88	2	421	
	MPTTC ARSO	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,4	801	-	-	1	180	
	ZICG	234	-	214	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
Srbija	REN	3.498	242	1.254	334	151	712	8.486	17	17	7.130	17	417	9	2.599	

PRILOG B - Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije

B.1 Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije (Ekspert - Izvršni direktor željeznica Republike Srpske – Prevoz)

Pokazatelji resursa					
Kriterijum	Dužina mreže	Raspoloživi broj voznih sredstava	Broj zaposlenih		
Dužina mreže	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)		
Raspoloživi broj voznih sredstava	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)		
Broj zaposlenih	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)		
Operativni pokazatelji					
Kriterijum	Komercijalna brzina vozova za pr.putnika	Broj prevezenih putnika	Putnički kilometri	Vozni kilometri	Realizacija reda vožnje
Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)
Broj prevezenih putnika	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
Putnički kilometri	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Vozni kilometri	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Realizacija reda vožnje	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Finasijski pokazatelji					
Kriterijum	Ukupni prihod	Dobit po zaposlenom	Troškovi el. energije	Troškovi goriva	Troškovi naknada za korišće. želj.infracr.
Ukupni prihod	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
Dobit po zaposlenom	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Troškovi el. energije	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Troškovi goriva	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
Troškovi naknada za korišćenje želj.infracr.	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)

Kvalitet usluga				
Kriterijum	Raspoloživost usluge	Pogodnost	Stabilnost usluga	Pouzdanost usluga
Raspoloživost usluge	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Pogodnost	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
Stabilnost usluga	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Pouzdanost usluga	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Bezbjednost				
Kriterijum	Broj ozbiljnih nesreća	Broj nesreća	Broj incidenata	
Broj ozbiljnih nesreća	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	
Broj nesreća	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	
Broj incidenata	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	

B.2 Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije (Ekspert - Izvršni direktor željeznica Federacije BiH- Prevoz)

Pokazatelji resursa					
Kriterijum	Dužina mreže	Raspoloživi broj voznih sredstava	Broj zaposlenih		
Dužina mreže	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)		
Raspoloživi broj voznih sredstava	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)		
Broj zaposlenih	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)		
Operativni pokazatelji					
Kriterijum	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	Broj prevezenih putnika	Putnički kilometri	Vozni kilometri	Realizacija reda vožnje
Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
Broj prevezenih putnika	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Putnički kilometri	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Vozni kilometri	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Realizacija reda vožnje	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

Finasijski pokazatelji					
Kriterijum	Ukupni prihod	Dobit po zaposlenom	Troškovi el. energije	Troškovi goriva	Troškovi naknada za korišćenje želj.infrast.
Ukupni prihod	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
Dobit po zaposlenom	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
Troškovi el. energije	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Troškovi goriva	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Troškovi naknada za korišćenje želj.infrast.	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
Kvalitet usluga					
Kriterijum	Raspoloživost usluge	Pogodnost	Stabilnost usluga	Pouzdanost usluga	
Raspoloživost usluge	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	
Pogodnost	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	
Stabilnost usluga	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	
Pouzdanost usluga	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	
Bezbednost					
Kriterijum	Broj ozbiljnih nesreća	Broj nesreća	Broj incidenata		
Broj ozbiljnih nesreća	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(7/2,4,9/2)		
Broj nesreća	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)		
Broj incidenata	(2/9,1/4, 2/7)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)		

B.3 Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije (Ekspert - Pomoćnik Ministra komunikacija i transporta BiH nadležan za željeznicu)

Pokazatelji resursa			
Kriterijum	Dužina mreže	Raspoloživi broj voznih sredstava	Broj zaposlenih
Dužina mreže	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
Raspoloživi broj voznih sredstava	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Broj zaposlenih	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

Operativni pokazatelji					
Kriterijum	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	Broj prevezenih putnika	Putnički kilometri	Vozni kilometri	Realizacija reda vožnje
Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
Broj prevezenih putnika	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Putnički kilometri	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Vozni kilometri	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Realizacija reda vožnje	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Finasijski pokazatelji					
Kriterijum	Ukupni prihod	Dobit po zaposlenom	Troškovi el. energije	Troškovi goriva	Troškovi naknada za koriš. želj.infr
Ukupni prihod	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
Dobit po zaposlenom	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
Troškovi el. energije	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)
Troškovi goriva	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
Troškovi naknada za korišćenje želj.infr.	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
Kvalitet usluga					
Kriterijum	Raspoloživost usluge	Pogodnost	Stabilnost usluga	Pouzdanost usluga	
Raspoloživost usluge	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	
Pogodnost	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(3/2,2,5/2)	
Stabilnost usluga	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	
Pouzdanost usluga	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	
Bezbednost					
Kriterijum	Broj ozbiljnih nesreća	Broj nesreća	Broj incidenata		
Broj ozbiljnih nesreća	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)		
Broj nesreća	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)		
Broj incidenata	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)		

B.4 Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije (Ekspert - Pomoćnik ministra saobraćaja i veza Republike Srpske nadležan za željeznicu)

Pokazatelji resursa					
Kriterijum	Dužina mreže	Raspoloživi broj voznih sredstava	Broj zaposlenih		
Dužina mreže	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/3,1,2)		
Raspoloživi broj voznih sredstava	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	(1,1,1)		
Broj zaposlenih	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1,1,1)		
Operativni pokazatelji					
Kriterijum	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	Broj prevezenih putnika	Putnički kilometri	Vozni kilometri	Realizacija reda vožnje
Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
Broj prevezenih putnika	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)
Putnički kilometri	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
Vozni kilometri	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Realizacija reda vožnje	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Finasijski pokazatelji					
Kriterijum	Ukupni prihod	Dobit po zaposlenom	Troškovi el. energije	Troškovi goriva	Troškovi naknada za koriš. želj.infr.
Ukupni prihod	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)
Dobit po zaposlenom	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
Troškovi el. energije	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Troškovi goriva	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
Troškovi naknada za korišćenje želj.infr.	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
Kvalitet usluga					
Kriterijum	Raspoloživost usluge	Pogodnost	Stabilnost usluga	Pouzdanost usluga	
Raspoloživost usluge	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	
Pogodnost	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(5/2,3,7/2)	(3/2,2,5/2)	
Stabilnost usluga	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	
Pouzdanost usluga	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	

Bezbjednost			
Kriterijum	Broj ozbiljnih nesreća	Broj nesreća	Broj incidenata
Broj ozbiljnih nesreća	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
Broj nesreća	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Broj incidenata	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

B.5 Stepen značaja kriterijuma prema lingvističkoj skali

preferencije (Ekspert - Pomoćnik ministra komunikacija i prometa nadležan za željeznicu Federacije BiH)

Pokazatelji resursa					
Kriterijum	Dužina mreže	Raspoloživi broj voznih sredstava	Broj zaposlenih		
Dužina mreže	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)		
Raspoloživi broj voznih sredstava	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)		
Broj zaposlenih	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)		
Operativni pokazatelji					
Kriterijum	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	Broj prevezenih putnika	Putnički kilometri	Vozni kilometri	Realizacija reda vožnje
Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)
Broj prevezenih putnika	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
Putnički kilometri	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)
Vozni kilometri	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Realizacija reda vožnje	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Finasijski pokazatelji					
Kriterijum	Ukupni prihod	Dobit po zaposlenom	Troškovi el. energije	Troškovi goriva	Troškovi naknada za korišć. želj.infr.
Ukupni prihod	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
Dobit po zaposlenom	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Troškovi el. energije	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Troškovi goriva	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
Troškovi naknada za korišć. želj.infr.	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)

Kvalitet usluga				
Kriterijum	Raspolozivost usluge	Pogodnost	Stabilnost usluga	Pouzdanost usluga
Raspolozivost usluge	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)
Pogodnost	(1,1,1)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)
Stabilnost usluga	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
Pouzdanost usluga	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
Bezbednost				
Kriterijum	Broj ozbiljnih nesreća	Broj nesreća	Broj incidenata	
Broj ozbiljnih nesreća	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	
Broj nesreća	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	
Broj incidenata	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	

PRILOG C - Vrijednosti izračunavanja za kriterijume

C.1 Vrijednosti izračunavanja za operativnu grupu kriterijuma

Tabela C.1. Komparaciona matrica za grupu operativnih kriterijuma (Komersijalna brzina – B1, broj prevezenih putnika – B2, putnički kilometri – B3, vozni kilometri – B4 i realizacija reda vožnje – B5)

		B1	B2	B3	B4	B5
B1	E1	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)
	E2	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E3	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E4	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E5	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)
B2	E1	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
	E2	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E3	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E4	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)
	E5	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
B3	E1	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E2	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E3	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E4	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
	E5	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)
B4	E1	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E2	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E3	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E4	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E5	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
B5	E1	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E2	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E3	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E4	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E5	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

Primjer obračuna geometrijske sredine dat je samo za B₁₂, a analogno su izračunate ostale vrijednosti koje su prikazane u tabeli C2.

Primjer obračuna geometrijske sredine za B₁₂ je:

$$n^- = (2/5 \times 2/5 \times 2/5 \times 2/3 \times 2/5)^{1/5} = 0.443$$

$$n = (1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1 \times 1/2)^{1/5} = 0.574$$

$$n^+ = (2/3 \times 2/3 \times 2/3 \times 2 \times 2/3)^{1/5} = 0.830$$

Tabela C.2. Fazi komparaciona matrica za kriterijume operativne grupe

	B1	B2	B3	B4	B5
B1	(1,1,1)	(0.443, 0.574, 0.830)	(0.568, 0.871, 1.516)	(0.491, 0.660, 1.035)	(0.629, 1, 1.888)
B2	(1.204, 1,741, 2.257)	(1,1,1)	(0.574, 1, 1.383)	(0.574, 1, 1.176)	(0.776, 1.319, 1.840)
B3	(0.660, 1.149, 1.760)	(0.723, 1, 1.741)	(1,1,1)	(0.850, 1, 1.319)	(0.699, 1, 1.351)
B4	(0.967, 1.516, 2.038)	(0.850, 1, 1.319)	(0.758, 1, 1.176)	(1,1,1)	(0.500, 1, 1.500)
B5	(0.530, 1, 1.589)	(0.543, 0.758, 1.289)	(0.740, 1, 1.431)	(0.667, 1, 2)	(1,1,1)

$$B_1=(1+0.443+0.568+0.491+0.629; 1+0.574+0.871+0.660+1; 1+0.830+1.516+1.035+1.888)=(3.131; 4.105; 6.269),$$

$$B_2=(1.204+1+0.574+0.574+0.776; 1,741+1+1+1+1.319; 2.257+1+1.383+1.176+1.840)=(4.128; 6.060; 7.656),$$

$$B_3=(0.660+0.723+1+0.850+0.699; 1.149+1+1+1+1; 1.760+1.741+1+1.319+1.351)=(3.932; 5.149; 7.171),$$

$$B_4=(0.967+0.850+0.758+1+0.500; 1.516+1+1+1+1; 2.038+1.319+1.176+1+1.500)=(4.075; 5.516; 7.033),$$

$$B_5=(0.530+0.543+0.740+0.667+1; 1+0.758+1+1+1; 1.589+1.289+1.431+2+1)=(3.480; 4.758; 7.309),$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j = (3.131; 4.105; 6.269)+(4.128; 6.060; 7.656),+(3.932; 5.149; 7.171)+(4.075; 5.516; 7.033)+(3.480; 4.758; 7.309) = \mathbf{(18.746; 25.588; 35.438)}$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \right]^{-1} =$$

$$S_1=(3.131; 4.105; 6.269) \times (1/35.438; 1/25.588; 1/18.746)=(0.088; 0.160; 0.334)$$

$$S_2=(4.128; 6.060; 7.656) \times (1/35.438; 1/25.588; 1/18.746)=(0.116; 0.237; 0.408)$$

$$S_3=(3.932; 5.149; 7.171) \times (1/35.438; 1/25.588; 1/18.746)=(0.111; 0.201; 0.383)$$

$$S_4=(4.075; 5.516; 7.033) \times (1/35.438; 1/25.588; 1/18.746)=(0.115; 0.216; 0.375)$$

$$S_5=(3.480; 4.758; 7.309) \times (1/35.438; 1/25.588; 1/18.746)=(0.098; 0.186; 0.390)$$

Vrijednosti V (redoslijed preferencija) se računaju pomoću ovih vektora.

$$V(S_1 \geq S_2) = \frac{0.116 - 0.334}{-0.174 - 0.121} = 0.739; V(S_1 \geq S_3) = \frac{0.111 - 0.334}{-0.174 - 0.09} = 0.845$$

$$V(S_1 \geq S_4) = \frac{0.115 - 0.334}{-0.174 - 0.101} = 0.796; V(S_1 \geq S_5) = \frac{0.098 - 0.334}{-0.174 - 0.088} = 0.901$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1; V(S_2 \geq S_3) = 1; V(S_2 \geq S_4) = 1; V(S_2 \geq S_5) = 1; V(S_3 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.116 - 0.383}{-0.182 - 0.121} = 0.881; V(S_3 \geq S_4) = \frac{0.115 - 0.383}{-0.182 - 0.101} = 0.947$$

$$V(S_3 \geq S_5) = 1; V(S_4 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_2) = \frac{0.116 - 0.375}{-0.159 - 0.121} = 0.925; V(S_4 \geq S_3) = 1; V(S_4 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_5 \geq S_1) = 1;$$

$$V(S_5 \geq S_2) = \frac{0.116 - 0.390}{-0.204 - 0.121} = 0.843$$

$$V(S_5 \geq S_3) = \frac{0.111 - 0.390}{-0.204 - 0.09} = 0.949$$

$$V(S_5 \geq S_4) = \frac{0.115 - 0.390}{-0.204 - 0.101} = 0.902$$

Prioriteti težine se izračunavaju pomoću:

$$d'=(B_1)\min(0.739; 0.845; 0.796; 0.901)= 0.739$$

$$d'=(B_2)\min(1; 1; 1; 1)= 1$$

$$d'=(B_3)\min(1; 0.881; 0.947; 1)= 0.881$$

$$d'=(B_4)\min(1; 0.925; 1; 1;)= 0.925$$

$$d'=(B_5)\min(1; 0.843; 0.949; 0.902)= 0.843$$

Relativne fazi težine svakog kriterijuma prikazane su u tabeli C3.

Tabela C.3. Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za operativne pokazatelje

Kriterijum	W'	W
Komercijalna brzina –B1	0.739	0.168
Broj prevezenih putnika – B2	1	0.228
Putnički kilometri – B3	0.881	0.201
Vozni kilometri – B4	0.925	0.211
Realizacija reda vožnje – B5	0.843	0.192

C.2 Vrijednosti izračunavanja za finansijsku grupu kriterijuma

Tabela C.4. Komparaciona matrica za grupu finansijskih kriterijuma (Ukupan prihod – C1, Dobit po zaposlenom – C2, Troškovi električne energije – C3, Troškovi goriva – C4 i Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture – C5)

		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	E1	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
	E2	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
	E3	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
	E4	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)
	E5	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
C ₂	E1	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
	E2	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
	E3	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)
	E4	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
	E5	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
C ₃	E1	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E2	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E3	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)
	E4	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E5	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
C ₄	E1	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
	E2	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E3	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
	E4	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E5	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
C ₅	E1	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
	E2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
	E3	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)
	E4	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
	E5	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)

Primjer obračuna geometrijske sredine dat je samo za C₁₂, a analogno su izračunate ostale vrijednosti koje su prikazane u tabeli C5.

$$n^- = (1 \times 2/3 \times 2/3 \times 1 \times 1/2)^{1/5} = 0.740$$

$$n = (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1)^{1/5} = 1$$

$$n^+ = (1 \times 2 \times 2 \times 1 \times 3/2)^{1/5} = 1.431$$

Tabela C.5. Fazi komparaciona matrica za kriterijume finansijske grupe

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	(1,1,1)	(0.740, 1, 1.431)	(0.530, 1, 1.589)	(1.204, 1.741, 2.257)	(0.653, 0.871, 1.398)
C ₂	(0.699, 1, 1.351)	(1,1,1)	(0.623, 1.149, 1.661)	(0.776, 1.444, 1.840)	(0.784, 1, 1.516)
C ₃	(0.629, 1, 1.888)	(0.602, 1, 1.605)	(1,1,1)	(0.758, 1, 1.176)	(0.602, 0.871, 1.605)
C ₄	(0.443, 0.574, 0.830)	(0.543, 0.758, 1.289)	(0.922, 1, 1.149)	(1,1,1)	(0.491, 0.660, 1.035)
C ₅	(0.715, 1.149, 1.532)	(0.660, 1, 1.275)	(0.623, 1.149, 1.661)	(0.967, 1.516, 2.038)	(1,1,1)

$$C_1=(1+0.740+0.530+1.204+0.653; 1+1+1+1.741+0.871; 1+1.431+1.589+2.257+1.398)=(4.127; 5.612; 7.675),$$

$$C_2=(0.699+1+0.623+0.776+0.784; 1+1+1.149+1.444+1; 1.351+1+1.661+1.840+1.516)=(3.882; 5.593; 7.368),$$

$$C_3=(0.629+0.602+1+0.758+0.602; 1+1+1+1+0.871; 1.888+1.605+1+1.176+1.605)=(3.591; 4.871; 7.274),$$

$$C_4=(0.443+0.543+0.922+1+0.491; 0.574+0.758+1+1+0.660; 0.830+1.289+1.149+1+1.035)=(3.399; 3.992; 5.303),$$

$$C_5=(0.715+0.660+0.623+0.967+1; 1.149+1+1.149+1.516+1; 1.532+1.275+1.661+2.038+1)=(3.965; 5.814; 7.506),$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j = (4.127; 5.612; 7.675)+(3.882; 5.593; 7.368),+(3.591; 4.871; 7.274)+(3.399; 3.992; 5.303)+(3.965; 5.814; 7.506) = (18.964; 25.882; 35.126)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \right]^{-1} :$$

$$S_1=(4.127; 5.612; 7.675) \times (1/35.126; 1/25.882; 1/18.964)=(0.117; 0.217; 0.405)$$

$$S_2=(3.882; 5.593; 7.368) \times (1/35.126; 1/25.882; 1/18.964)=(0.110; 0.216; 0.389)$$

$$S_3=(3.591; 4.871; 7.274) \times (1/35.126; 1/25.882; 1/18.964)=(0.102; 0.188; 0.384)$$

$$S_4=(3.399; 3.992; 5.303) \times (1/35.126; 1/25.882; 1/18.964)=(0.097; 0.154; 0.280)$$

$$S_5=(3.965; 5.814; 7.506) \times (1/35.126; 1/25.882; 1/18.964)=(0.113; 0.225; 0.396)$$

Izračunata vrijednosti V (redoslijed preferencija) je:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1; V(S_1 \geq S_3) = 1; V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_5) = \frac{0.113 - 0.405}{-0.188 - 0.112} = 0.973$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \frac{0.117 - 0.389}{-0.173 - 0.1} = 0.996$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1; V(S_2 \geq S_4) = 1; V(S_2 \geq S_5) = \frac{0.113 - 0.389}{-0.173 - 0.112} = 0.968$$

$$V(S_3 \geq S_1) = \frac{0.117 - 0.384}{-0.196 - 0.1} = 0.902; V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.110 - 0.384}{-0.196 - 0.106} = 0.907$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1; V(S_3 \geq S_5) = \frac{0.113 - 0.384}{-0.196 - 0.112} = 0.879$$

$$V(S_4 \geq S_1) = \frac{0.117 - 0.280}{-0.126 - 0.1} = 0.721; V(S_4 \geq S_2) = \frac{0.110 - 0.280}{-0.126 - 0.106} = 0.733$$

$$V(S_4 \geq S_3) = \frac{0.102 - 0.280}{-0.126 - 0.086} = 0.840; V(S_4 \geq S_5) = \frac{0.113 - 0.280}{-0.126 - 0.112} = 0.701$$

$$V(S_5 \geq S_1) = 1; V(S_5 \geq S_2) = 1; V(S_5 \geq S_3) = 1; V(S_5 \geq S_4) = 1$$

Prioriteti težina su: se

$$d'=(C_1)\min(1; 1; 1; 0.973)= 0.973$$

$$d'=(C_2)\min(0.996; 1; 1; 0.968)= 0.968$$

$$d'=(C_3)\min(0.902; 0.907; 1; 0.880)= 0.880$$

$$d'=(C_4)\min(0.721; 0.733; 0.840; 0.702;)= 0.702$$

$$d'=(C_5)\min(1; 1; 1; 1)= 1$$

Relativne fazi težine svakog kriterijuma prikazane su u tabeli C6

Tabela C.6. Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za finansijske pokazatelje

Kriterijum	W'	W
Ukupan prihod – C1	0.973	0.215
Dobit po zaposlenom – C2	0.968	0.214
Troškovi električne energije – C3	0.880	0.195
Troškovi goriva – C4	0.702	0.155
Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastr. – C5	1	0.221

C.3 Vrijednosti izračunavanja za grupu kriterijuma kvaliteta usluga

Tabela C.7. Komparaciona matrica za grupu kriterijuma kvaliteta usluga (Raspoloživost usluge – D1, Pogodnost(sposobnost ponuđenih usluga) – D2, Stabilnost usluga – D3, i Pouzdanost usluga – D4)

		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
D ₁	E1	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E2	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
	E3	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)
	E4	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E5	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)
D ₂	E1	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
	E2	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
	E3	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(3/2,2,5/2)
	E4	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(5/2,3,7/2)	(3/2,2,5/2)
	E5	(1,1,1)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)
D ₃	E1	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E2	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E3	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E4	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
	E5	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
D ₄	E1	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E2	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
	E3	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E4	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)
	E5	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

Primjer obračuna geometrijske sredine dat je samo za D₁₂, a analogno su izračunate ostale vrijednosti koje su prikazane u tabeli C8.

$$n^- = (2/3 \times 2/5 \times 2/5 \times 2/5 \times 2/5 \times 1)^{1/5} = 0.532$$

$$n = (1 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1)^{1/5} = 0.660$$

$$n^+ = (2 \times 2/3 \times 2/3 \times 2/3 \times 1)^{1/5} = 0.900$$

Tabela C.8. Fazi komparaciona matrica za kriterijume grupe kvaliteta usluge

	D1	D2	D3	D4
D1	(1,1,1)	(0.532, 0.660, 0.900)	(0.699, 1, 1.084)	(0.594, 1, 1.783)
D2	(1.110, 1.516, 1.879)	(1,1,1)	(0.910, 1.431, 2.085)	(1.383, 1.741, 2.081)
D3	(0.740, 1, 1.431)	(0.480, 0.699, 1.098)	(1,1,1)	(0.561, 1, 1.683)
D4	(0.561, 1, 1.683)	(0.480, 0.574, 0.723)	(0.594, 1, 1.783)	(1,1,1)

$$D_1=(1+0.532+0.699+0.594; 1+0.660+1+1; 1+0.900+1.084+1.783)=(2.825; 3.660; 4.767),$$

$$D_2=(1.110+1+0.910+1.383; 1.516+1+1.431+1.741; 1.879+1+2.085+2.081)=(4.403; 5.688; 7.045),$$

$$D_3=(0.740+0.480+1+0.561; 1+0.699+1+1; 1.431+1.098+1+1.683)=(2.781; 3.699; 5.212),$$

$$D_4=(0.561+0.480+0.594+1; 1+0.574+1+1; 1.683+0.723+1.783+1)=(2.635; 3.574; 5.189),$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j = (2.825; 3.660; 4.767), + (4.403; 5.688; 7.045), + (2.781; 3.699; 5.212) + (2.635; 3.574; 5.189) = (12.644; 16.621; 22.213)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} :$$

$$S_1=(2.825; 3.660; 4.767) \times (1/22.213; 1/16.621; 1/12.644) = (0.127; 0.220; 0.377)$$

$$S_2=(4.403; 5.688; 7.045) \times (1/22.213; 1/16.621; 1/12.644) = (0.198; 0.342; 0.557)$$

$$S_3=(2.781; 3.699; 5.212) \times (1/22.213; 1/16.621; 1/12.644) = (0.125; 0.222; 0.412)$$

$$S_4=(2.635; 3.574; 5.189) \times (1/22.213; 1/16.621; 1/12.644) = (0.119; 0.215; 0.410)$$

vrijednosti V (redoslijed preferencija) iznosi.

$$V(S_1 \geq S_2) = \frac{0.198 - 0.377}{-0.157 - 0.144} = 0.595; V(S_1 \geq S_3) = \frac{0.125 - 0.377}{-0.157 - 0.097} = 0.992$$

$$V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1; V(S_2 \geq S_3) = 1; V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1; V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.198 - 0.412}{-0.190 - 0.144} = 0.641; V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = \frac{0.127 - 0.410}{-0.291 - 0.093} = 0.743; V(S_4 \geq S_2) = \frac{0.198 - 0.410}{-0.291 - 0.144} = 0.487$$

$$V(S_4 \geq S_3) = \frac{0.125 - 0.410}{-0.195 - 0.097} = 0.993$$

Prioriteti težine su:

$$d'=(D_1)\min(0.595; 0.992; 1) = 0.595$$

$$d'=(D_2)\min(1; 1; 1) = 1$$

$$d'=(D_3)\min(1; 0.641; 1) = 0.641$$

$$d'=(D_4)\min(0.743; 0.487; 0.993) = 0.487$$

Relativne fazi težine svakog kriterijuma prikazane su u tabeli C9.

Tabela C.9. Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za grupu kvaliteta usluga

Kriterijum	W'	W
Raspoloživost usluge –D1	0.595	0.219
Pogodnost(sposobnost ponuđenih usluga) – D2	1	0.367
Stabilnost usluga – D3	0.641	0.235
Pouzdanost usluga – D4	0.487	0.179

C.4 Vrijednosti izračunavanja za grupu kriterijuma bezbjednosti

Tabela C.10. Komparaciona matrica za grupu kriterijuma bezbjednosti (Broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru – E₁, Broj nesreća po voznom kilometru – E₂, i Broj incidenata po voznom kilometru – E₃).

		E ₁	E ₂	E ₃
E ₁	E1	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
	E2	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(7/2,4,9/2)
	E3	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)
	E4	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
	E5	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)
E ₂	E1	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E2	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
	E3	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
	E4	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E5	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
E ₃	E1	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E2	(2/9,1/4, 2/7)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)
	E3	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)
	E4	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E5	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

Primjer obračuna geometrijske sredine za je:

Primjer obračuna geometrijske sredine dat je samo za E₁₂, a analogno su izračunate ostale vrijednosti koje su prikazane u tabeli C11.

$$n^- = (1/2 \times 3/2 \times 3/2 \times 1/2 \times 1/2)^{1/5} = 0,776$$

$$n = (1/3 \times 2/5 \times 2/5 \times 1/3 \times 1/3)^{1/5} = 1,320$$

$$n^+ = (3/2 \times 5/2 \times 5/2 \times 3/2 \times 3/2)^{1/5} = 1,840$$

Tabela C.11. Fazi komparaciona matrica za kriterijume grupe bezbjednosti

	E1	E2	E3
E1	(1,1,1)	(0.776, 1.320, 1.840)	(1.968, 2.491, 3.007)
E2	(0.543, 0.758, 1.289)	(1,1,1)	(0.776, 1.320, 1.840)
E3	(0.332, 0.401, 0.508)	(0.543, 0.758, 1.289)	(1,1,1)

$$C_1 = (1 + 0.776 + 1.968; 1 + 1.320 + 2.491; 1 + 1.840 + 3.007) = (3.744; 4.811; 5.847),$$

$$C_2 = (0.543 + 1 + 0.776; 0.758 + 1 + 1.320; 1.289 + 1 + 1.840) = (2.319; 3.078; 4.129),$$

$$C_3 = (0.332 + 0.543 + 1; 0.401 + 0.758 + 1; 0.508 + 1.289 + 1) = (1.875; 2.159; 2.797),$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{gi}^j = (3.744; 4.811; 5.847), + (2.319; 3.078; 4.129), + (1.875; 2.159; 2.797) = (7.938; 10.048; 12.773)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} :$$

$$S_1 = (1.875; 2.159; 2.797) \times (1/12.773; 1/10.048; 1/7.938) = (0.293; 0.479; 0.737)$$

$$S_2 = (2.319; 3.078; 4.129) \times (1/12.773; 1/10.048; 1/7.938) = (0.182; 0.306; 0.520)$$

$$S_3 = (1.875; 2.159; 2.797) \times (1/12.773; 1/10.048; 1/7.938) = (0.147; 0.215; 0.352)$$

Vrijednosti V (redoslijed preferencija) iznosi.

$$V(S_1 \geq S_2) = 1; V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \frac{0.293 - 0.520}{-0.214 - 0.186} = 0.567$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = \frac{0.293 - 0.352}{-0.137 - 0.186} = 0.183$$

$$V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.182 - 0.352}{-0.137 - 0.124} = 0.651$$

Prioriteti težine su:

$$d' = (E_1) \min(1; 1) = 1$$

$$d' = (E_2) \min(0.567; 1) = 0.567$$

$$d' = (E_3) \min(0.183; 0.651) = 0.183$$

Relativne fazi težine svakog kriterijuma prikazane su u tabeli C12

Tabela C.12. Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za grupu bezbjednost

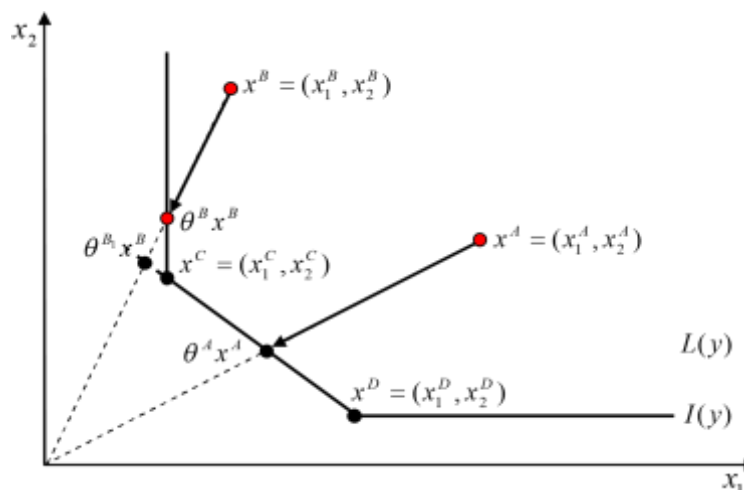
Kriterijum	W'	W
Broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru – E1	1	0.571
Broj nesreća po voznom kilometru – E2	0.567	0.324
Broj incidenata po voznom kilometru – E3	0.183	0.105

PRILOG D - Debreu-Farelovo mjerjenje tehničke efikasnosti

D.1 Debreu-Farelovo mjerjenje tehničke efikasnosti ulazne orijentacije

Slika E.1 prikazuje ulaznu izokvantu $I(y)$, sa odgovarajućim ulaznim skupom $L(y)$ čiji elementi su oblika $x = (x_1, x_2)$, jednim izlazom (y) i tehnologijom T , tj. $L(y) = \{x: (y, x) \in T \wedge x \in (R^+)^2\}$. Na slici E.1, $L(y)$ je dio prvog kvadranta koji je sa $I(y)$ ograničen odozdo (sa donje strane). Posmatraju se četiri jedinice A, B, C i D koje sa ulaznim vektorima

$x^A = (x_1^A, x_2^A)$, $x^B = (x_1^B, x_2^B)$, $x^C = (x_1^C, x_2^C)$ i $x^D = (x_1^D, x_2^D)$ prave isti izlazni vektor y koristeći datu tehnologiju T .



Slika D.1 Ulazno orijentisana tehnička efikasnost

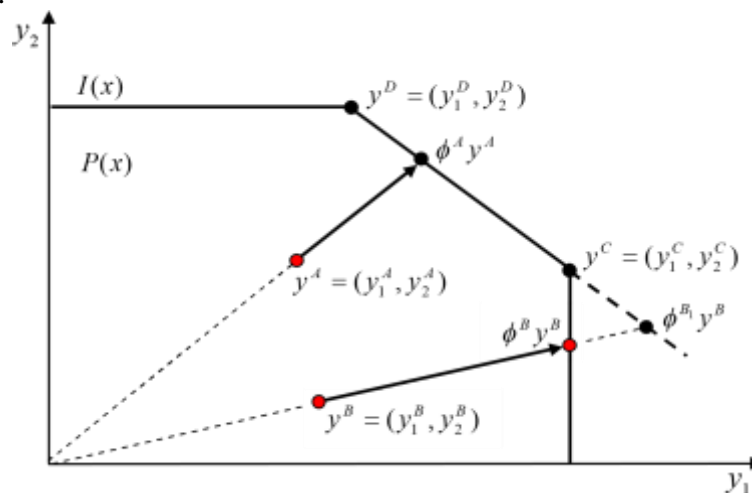
Ulazni vektori $x^A = (x_1^A, x_2^A)$ i $x^B = (x_1^B, x_2^B)$ nalaze se unutar $L(y)$, oba vektora mogu da budu radijalno skraćena pri tome da i dalje ostanu sposobni da naprave izlazni vektor y . Ulazni vektori $x^C = (x_1^C, x_2^C)$ i $x^D = (x_1^D, x_2^D)$ ne mogu da budu radijalno skraćeni a da pri tome i dalje ostanu sposobni da naprave izlazni vektor y . To je iz razloga što se ovi vektori nalaze na ulaznoj izokvanti $I(y)$, pa je $TE_I(y, x^C) = TE_I(y, x^D) = 1 > \max\{TE_I(y, x^A), TE_I(y, x^B)\}$. Ulazni vektor x^A sadrži nepotpuno iskorišćene ulaze x_1^A i x_2^A , pa radijalno smanjeni ulazni vektor x^A na nivo ulaznog vektora $\theta^A x^A = (\theta^A x_1^A, \theta^A x_2^A)$ postaje tehnički efikasan u stvaranju izlaznog vektora y . Isti problem se javlja i kod ulaznog vektora x^B koji postaje tehnički efikasan poslije radijalnog smanjenja na nivo ulaznog vektora $\theta^B x^B = (\theta^B x_1^B, \theta^B x_2^B)$. Na taj način je $TE_I(y, \theta^A x^A) = TE_I(y, \theta^B x^B) = 1$, $\theta^A x^A \in E(y)$ ali $\theta^B x^B \notin E_y$.

Ulazni vektor x^B radijalno smanjen na nivo ulaznog vektora $\theta^B x^B$ zadovoljava Debreu-Farelove uslove ali ne i Kopmansove zahtjeve jer i pored izvršene optimalne radijalne projekcije ostaju nepotpuno iskorišćeni ulazi. Ovaj vektor može da zadovolji Kopmansove zahtjeve ako se nivo $\theta^B x^B$ dodatno smanji na nivo $\theta^{B_1} x^B$, kao što je prikazano na slici D.1.

D.2 Debreu-Farelovo mjerenje tehničke efikasnosti izlazne orijentacije

Slika E.2 prikazuje izlaznu izokvantu $I(x)$, sa odgovarajućim izlaznim skupom $P(x)$ čiji elementi su oblika $y = (y_1, y_2)$, jednim ulazom (x) i tehnologijom T , tj. $P(x) = \{y : (y, x) \in T \wedge y \in (R^+)^2\}$. Na slici E.2, $P(x)$ je dio prvog kvadranta koji je sa $I(x)$ ograničen odozgo (sa gornje strane). Posmatraju se četiri jedinice A , B , C i D koje prave izlazne vektore

$y^A = (y_1^A, y_2^A)$, $y^B = (y_1^B, y_2^B)$, $y^C = (y_1^C, y_2^C)$ i $y^D = (y_1^D, y_2^D)$ koristeći ulazni vektor x i datu tehnologiju T .



Slika D.2 Izlazno orijentisana tehnička efikasnost

Izlazni vektori $y^C = (y_1^C, y_2^C)$ i $y^D = (y_1^D, y_2^D)$ su tehnički efikasno dobijeni korišćenjem ulaza x , dok to nije slučaj sa izlaznim vektorima $y^A = (y_1^A, y_2^A)$, $y^B = (y_1^B, y_2^B)$ koji nisu tehnički efikasno dobijeni korišćenjem istih ulaza. Radijalno uvećani izlazni vektori y^A i y^B na nivo izlaznih vektora $\phi^A y^A = (\phi^A y_1^A, \phi^A y_2^A)$ i $\phi^B y^B = (\phi^B y_1^B, \phi^B y_2^B)$ postaju tehnički efikasno dobijeni korišćenjem ulaza x . Na taj način je $TE_o(x, \phi^A y^A) = TE_o(x, \phi^B y^B) = 1$, $\phi^A y^A \in E(x)$ ali $\phi^B y^B \notin E(x)$.

Izlazni vektor y^B radijalno povećan na nivo izlaznog vektora $\phi^B y^B$ zadovoljava Debreu-Farelove uslove ali ne i Kopmansove zahtjeve jer i pored izvršene optimalne radijalne projekcije ostaju nepotuno ostvareni izlazi. Vektor može da zadovolji Kopmansove zahtjeve ako se nivo $\phi^B y^B$ dodatno poveća na nivo $\phi^{B_1} y^B$, kao što je prikazano na slici D.2.

PRILOG E - Ulazni i izlazni podaci za DEA model

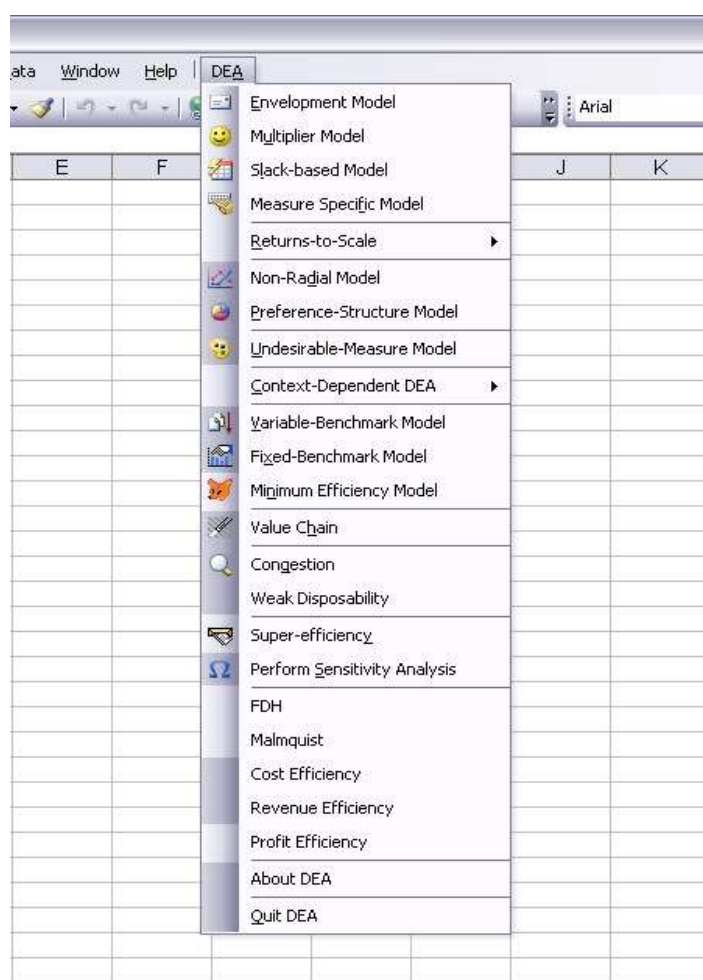
Tabela E.1. Ulazni i izlazni podaci za DEA model							
Zemlja	Željeznički operater	Skraćena oznaka	Raspoloživa vozna sredstva	Visina naknada u eurima	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Broj prevezenih putnika
Austrija	ÖBB Personenverkehr AG	ÖBB	4414	1.96	90	17	235.000.000
Albanija	Hekurudha Shqiptarë SH.	HSH	143	1.70	70	6	1.000.000
Belgija	Société nationale des chemins de fer Belges / Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen	SNCB/NMBS	3533	1.95	85	16	229.000.000
Bosna i Hercegovina	Željeznice Republike Srpske	ŽRS	141	1.63	60	3	173.799
Bosna i Hercegovina	Željeznice Federacije BiH	ŽFBiH	131	1.63	60	5	354.898
Bugarska	Bulgarian state railways passenger	BDZ	1046	1.40	70	15	25.000.000
Crna Gora	Željeznički prevoz Crne Gore AD	ŽPCG	98	3.00	60	6	1.000.000
Češka	České Dráhy	ČD	6918	1.10	80	23	170.000.000
Francuska	Société Nationale des Chemins de fer français Voyages	SNCF Voyages	23363	4.20	90	55	1.122.000.000

Holandija	NS Reizigers BV	NS Reizigers	5311	1.10	80	7	346.000.000
Hrvatska	HŽ Putnički prijevoz d.o.o.	HŽ	643	2.48	75	19	21.926.000
Mađarska	MÁV-Start Vasúti Személyszállító Zrt.	MÁV-Start	3555	2.55	80	88	111.000.000
Makedonija	Makedonski Železnici Transport AD Skopje	MŽT	121	2.00	70	2	803.101
Njemačka	Deutsche Bahn DB Vertrieb GmbH	DB Vertrieb GmbH	35943	3.90	90	80	2.023.000.000
Poljska	Polskie Koleje Państwowe Spółka Akcyjna	PKP	9779	2.21	80	146	140.000.000
Rumunija	Societatea Națională de Transport Feroviar de Călători	CFR Călători	3684	1.20	75	76	56.000.000
Slovačka, a.s.	Železničná spoločnosť Slovensko	ZSSK	1920	2.10	75	57	47.000.000
Slovenija	Slovenske železnice - Potniški promet d.o.o.	SŽ - Potniški promet	760	1.80	80	3	15.000.000
Srbija	Srbija Voz a.d.	SV	1217	0.90	70	13	17.000.000
Švajcarska	Swiss Federal Railways- Passenger subsidiary	SBB-Passengers	561	1.05	80	15	55.000.000
Velika Britanija	Association of Train Operating Companies Limited	ATOC Ltd	23340	3.30	85	17	1.562.000.000

PRILOG F - Karakteristike i upotreba DEA Excel Solver softvera

F.1. Karakteristike i upotreba DEA Excel Solver softvera

DEA Excel Solver, (<http://www.deafrontier.net>), zahteva operativni sistem Microsoft Windows, Microsoft Excel 97 ili noviju verziju. Ovaj softver je opisan u (Zhu, 2003). DEA Excel Solver omogućava rešavanje i drugih DEA modela koji se nude u meniju ovog softvera prikazanom na slici .F1



Slika F.1 DEA Excel Solver meni

Softver koristi Excel Solver koji ne postavlja granicu u broju DMU, broju ulaza i broju izlaza. Međutim, kod nekih verzija solvera postoje ograničenja broja promjenljivih i uslova, što je prikazano u Tabeli F1

Tabela F.1 Ograničenja broja promjenljivih i uslova nekih Excel Solver verzija

Problem veličina:	Standard Excel Solver	Premium Solver	Premium Solver Platform
Promjenljive x uslovi	200 x 200	1000 x 8000	2000 x 8000

Izvor: <http://www.solver.com/>

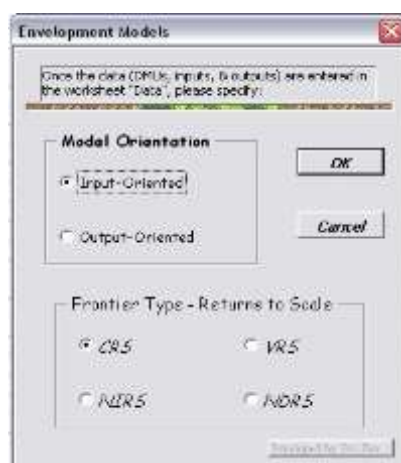
Podaci o DMU treba da se unesu u radni list (Worksheet) pod nazivom "Data". Unos podataka za opšti slučaj kada postoji n DMU koje koriste m ulaza za stvaranje s izlaza treba da se izvrši na način kao što je prikazano na slici F2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Naziv DMU	Ulaz 1	Ulaz 2	...	Ulaz m		Izlaz 1	Izlaz 2	...	Izlaz s	
2	DMU 1	10	8		18		35	48		56	
3	DMU 2	7	13		15		50	52		37	
4	DMU 3	12	10		25		62	73		45	
5	.										
6	.										
7	.										
8	DMU n	15	12		23		75	38		73	
9											

Slika F.2 Format radnog lista za unos podataka o DMU

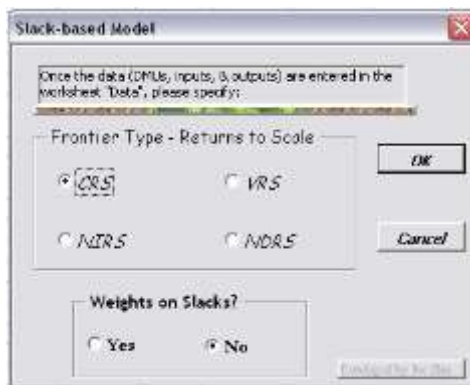
Negativni podaci ili podaci koji nisu predstavljeni brojem smatraju se nevažećim podacima. Softver prije rješavanja određenog DEA modela provjerava da li su svi podaci važeći. Ako radni list sa podacima o DMU sadrži negativne ili nenumeričke podatke, softver će prekinuti rješavanje modela i locirati nevažeće podatke.

Za pokretanje CRS, VRS, NDRS i NIRS modela koji su u DEA Excel Solver-u grupisani i nazvani "Envelopment Model", potrebno je izabrati stavku "Envelopment Model" iz menija. Pojaviće se dijalog okvir pod nazivom "Envelopment Models" kao što je prikazano na slici D3. Ovaj dijalog okvir omogućava rješavanje CRS, VRS, NDRS i NIRS modela, kao i izbor određene orijentacije, ulazne ili izlazne. Izveštaj o ocjenama efikasnosti i benčmarkovima se daje u radnom listu pod nazivom "Efficiency".



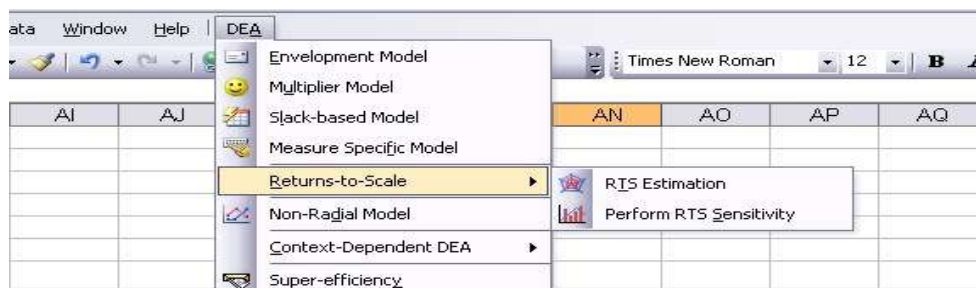
Slika F.3 Dijalog okvir za rješavanje CRS, VRS, NDRS i NIRS modela

Da bi mogli da se pokrenu slak-bazirani modeli, potrebno je u meniju izabrati stavku "Slack-based Model". Pojaviće se dijalog okvir pod nazivom "Slack-based Model" kao što je prikazano na slici F4. Ovaj dijalog okvir omogućava izračunavanje ulaznih i izlaznih slakova i u slučaju kada se zahtjeva ponderacija ulaza i izlaza. Izveštaj o vrijednostima za ulazne i izlazne slakove se daje u radnom listu pod nazivom "Slack Report", dok se optimalne vrijednosti za ulaze i izlaze daju u radnom listu pod nazivom "Efficient Target".



Slika F.4 Dijalog okvir za rješavanje slak-baziranih modela

RTS (engl. *Return to Scale*) procena DMU i analiza osjetljivosti ili stabilnosti izvršene RTS procijene omogućene su stavkom pod nazivom "Returns-to-Scale" DEA Excel Solver menija. Ova stavka sastoji se od dvije podstavke pod nazivom "RTS Estimation" i "Perform RTS Sensitivity" kao što je prikazano na slici F5

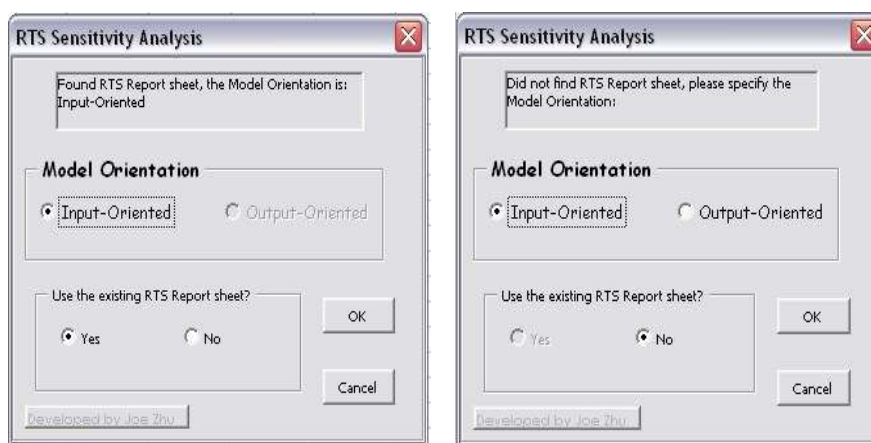


Slika F.5 Stavka "Returns-to-Scale"

RTS procijena se izvršava ako se izabere podstavka "RTS Estimation", dok se analiza osjetljivosti izvršava kada se izabere podstavka "Perform RTS Sensitivity". Kada je izabrana podstavka "RTS Estimation", tada se pojavljuje dijalog okvir pod nazivom "Returns-to-Scale Estimation", prikazan na slici F.6., a kada se izabere podstavka "Perform RTS Sensitivity" mogu da se jave dve varijante dijalog okvira pod nazivom "RTS Sensitivity Analysis" prikazanih na slici F.7.



Slika F.6 Dijalog okvir za izvršavanje RTS procijene



(a)

(b)

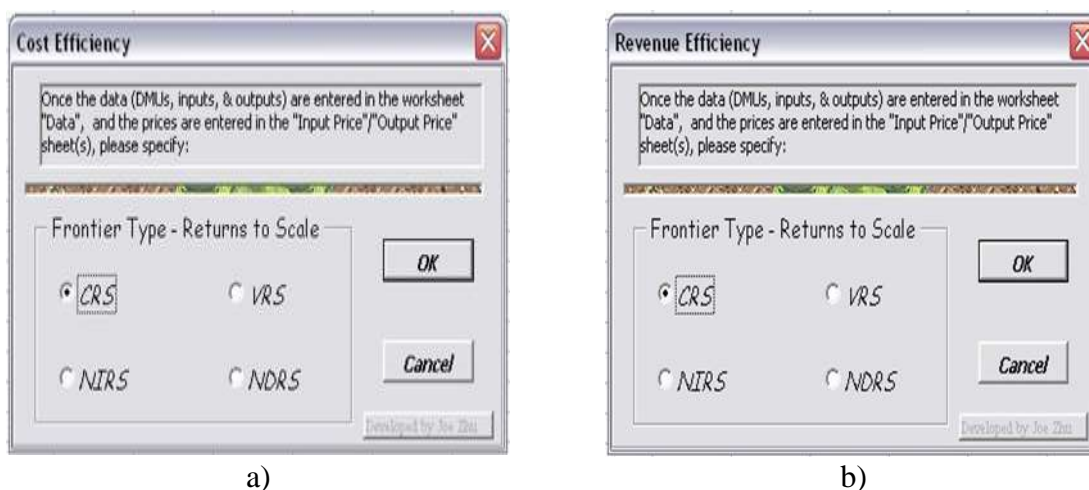
Slika F.7 Dvije varijante za dijalog okvir pri izvršavanju analize osjetljivosti

Podstavka "RTS Estimation" obezbjeđuje RTS klasifikaciju, RTS regione i efikasne vrijednosti ulaza i izlaza za neefikasne DMU. Ako je u dijalog okviru izabran "RTS Region" tada će funkcija "Scale Efficient Target" biti onemogućena (videti sliku F.6). Izveštaj o rezultatima se daje u radnom listu pod nazivom "RTS Region". Ako se izabere "Input-Oriented", tada će softver proizvesti RTS klasifikaciju zasnovanu na ulazno orijentisanim grupnim modelima, a ako je izabran "Output-Oriented", tada će softver proizvesti RTS klasifikaciju zasnovanu na izlazno orijentisanim grupnim modelima. Izveštaj o RTS klasifikaciji se u oba slučaju daje u radnom listu pod nazivom "RTS Report". Funkcija "Scale Efficient Target" obezbjeđuje efikasne ciljeve tj. donju i gornju vrijednost za ulaze i donju i gornju vrijednost za izlaze za sve neefikasne DMU. Izveštaj o rezultatima se daje u dva radna lista pod nazivom "Smallest MPSS" i "Largest MPSS", respektivno.

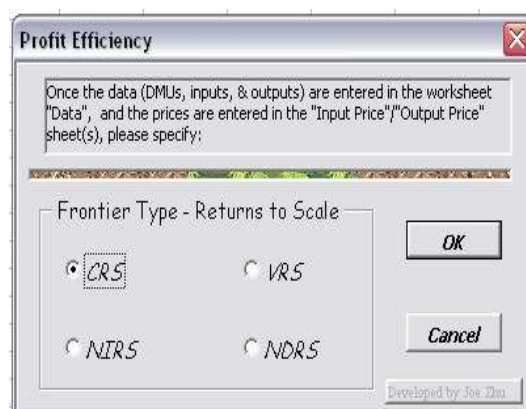
Podstavka "Perform RTS Sensitivity" obezbjeđuje analizu osjetljivosti tako što daje intervale stabilnosti za očuvanje izvedene RTS klasifikacije za svaku DMU posebno. Omogućene su obje orijentacije što znači da mogu da se analiziraju i ulazne i izlazne preturbacije. Poznato je da ulazna orijentacija dopušta izlazne preturbacije, dok izlazna orijentacija dopušta ulazne preturbacije. Pre nego što se izvrši "Perform RTS Sensitivity" softver će prvo provjeriti postojanje "RTS Report" radnog lista. Ako je "RTS Report" radni list pronađen, softver će

prikazati orijentaciju modela i pitati da li se želi izvršiti RTS analiza osjetljivosti zasnovana na pronađenom "RTS Report" radnom listu (videti sliku F.7 pod a). To znači ako je RTS klasifikacija zasnovana na ulazno orijentisanim grupnim modelima, tada će RTS analiza osjetljivosti biti ulazno orijentisana, ili ako je RTS klasifikacija zasnovana na izlazno orijentisanim grupnim modelima, tada će RTS analiza osjetljivosti biti izlazno orijentisana. Ako ne postoji "RTS Report" radni list, softver će tražiti da se navede orijentacija modela (videti sliku F.7 pod b). Softver će proizvesti prvo "RTS Report" radni list, pa zatim će dati intervale stabilnosti u radnom listu pod nazivom "RTS Sensitivity". Ista procedura se sledi ako je izabrano "No" u dijalog okviru koji je prikazan na slici F.7 pod a.

Da bi mogli da se koriste modeli za ocjenu efikasnosti potrebno je da postoji informacija o ulazima i izlazima. Podaci o ulazima i izlazima treba da se unesu u dva radna lista pod nazivom "Input Price" i "Output Price", respektivno. Model za ocjenu efikasnosti, prihodne efikasnosti se tada mogu pokrenuti ako se u meniju izaberu stavke "Cost Efficiency", "Revenue Efficiency" ili "Profit Efficiency". Pojaviće se dijalog okvir pod nazivom "Cost Efficiency", "Revenue Efficiency" ili "Profit Efficiency", respektivno kao što je prikazano na slikama F.8 i F.9. Ovi dijalog okviri omogućavaju rješavanje modela ocjenu efikasnosti, prihodne efikasnosti i profitne efikasnosti. Ocjene i benčmarkovi se daju u radnim listovima pod nazivom "Cost Efficiency", "Revenue Efficiency" i "Profit Efficiency". Optimalne vrijednosti za ulaze i izlaze se daju u radnim listovima pod nazivom "OptimalData-Cost Efficiency", "OptimalData-Revenue Efficiency" i "OptimalData-Profit Efficiency".

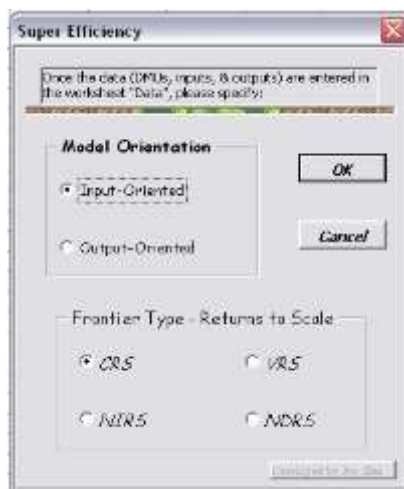


Slika F.8 Dijalog okvir za mjerenje efikasnosti: (a) troškovne, (b) prihodne



Slika F.9 Dijalog okvir za mjerenje profitne efikasnosti

Modeli za mjerenje super-efikasnosti mogu se pokrenuti ako se u meniju izabere stavka "Super-efficiency". Pojaviće se dijalog okvir pod nazivom " Super Efficiency" kao što je prikazano na slici F.10. Ovaj dijalog okvir omogućava rešavanje CRS, VRS, NDRS i NIRS modela za ocjenu super-efikasnosti, kao i izbor određene orijentacije, ulazne ili izlazne. Izveštaj o ocjenama super-efikasnosti i benčmarkovima se daje u radnom listu pod nazivom "Super-efficiency".



Slika F.10 Dijalog okvir za mjerenje super-efikasnosti

PRILOG G - TESTIRANJE FUZZY MODELA

G1. TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA						
Red. br.	Raspoloživa vozna sredstva	Broj prevezenih putnika	Troškovi naknada za korišćenje želj.infrastrukture	Pogodnost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada
1	120	174.000	3,63	60	2547	3,49
2.	123	174.000	3,63	60	2547	3,49
3.	126	174.000	3,63	60	2547	3,49
4.	130	174.000	3,63	60	2547	3,49
5.	133	174.000	3,63	60	2547	3,49
6.	136	174.000	3,63	60	2547	3,54
7.	140	174.000	3,63	60	2547	3,67
8.	144	174.000	3,63	60	2547	3,67
9.	148	174.000	3,63	60	2547	3,67
10.	152	174.000	3,63	60	2547	3,67
11.	155	174.000	3,63	60	2547	3,67
12.	158	174.000	3,63	60	2547	3,67
13.	161	174.000	3,63	60	2547	3,67
14.	164	174.000	3,63	60	2547	3,67
15.	167	174.000	3,63	60	2547	3,67
16.	170	174.000	3,63	60	2547	3,67
17.	173	174.000	3,63	60	2547	3,67
18.	176	174.000	3,63	60	2547	3,67
19.	178	174.000	3,63	60	2547	3,67
20.	180	174.000	3,63	60	2547	3,67
21.	148	300.000	3,63	60	2547	3,67
22.	148	320.000	3,63	60	2547	3,88
23.	148	340.000	3,63	60	2547	4,07
24.	148	360.000	3,63	60	2547	4,25
25.	148	380.000	3,63	60	2547	4,43
26.	148	400.000	3,63	60	2547	4,59
27.	148	430.000	3,63	60	2547	4,66
28.	148	460.000	3,63	60	2547	5,26
29.	148	480.000	3,63	60	2547	5,26
30.	148	500.000	3,63	60	2547	5,26
31.	148	520.000	3,63	60	2547	5,26
32.	148	540.000	3,63	60	2547	5,26
33.	148	560.000	3,63	60	2547	5,48
34.	148	580.000	3,63	60	2547	5,84
35.	148	600.000	3,63	60	2547	6,1

36.	148	620.000	3,63	60	2547	6,14
37.	148	640.000	3,63	60	2547	6,14
38.	148	660.000	3,63	60	2547	6,14
39.	148	680.000	3,63	60	2547	6,14
40.	148	700.000	3,63	60	2547	6,14
41.	148	174.000	0	60	2547	3,68
42.	148	174.000	0,4	60	2547	3,68
43.	148	174.000	0,8	60	2547	3,68
44.	148	174.000	1,2	60	2547	3,68
45.	148	174.000	1,6	60	2547	3,68
46.	148	174.000	2,0	60	2547	3,68
47.	148	174.000	2,4	60	2547	3,68
48.	148	174.000	2,8	60	2547	3,68
49.	148	174.000	3,2	60	2547	3,68
50.	148	174.000	3,63	60	2547	3,67
51.	148	174.000	4,0	60	2547	3,6
52.	148	174.000	4,4	60	2547	3,52
53.	148	174.000	4,8	60	2547	3,43
54.	148	174.000	5,2	60	2547	3,33
55.	148	174.000	5,6	60	2547	3,27
56.	148	174.000	6,0	60	2547	3,27
57.	148	174.000	6,3	60	2547	3,27
58.	148	174.000	6,6	60	2547	3,27
59.	148	174.000	6,9	60	2547	3,27
60.	148	174.000	7,2	60	2547	3,27
61.	148	174.000	3,63	0	2547	3,12
62.	148	174.000	3,63	10	2547	3,12
63.	148	174.000	3,63	15	2547	3,12
64.	148	174.000	3,63	20	2547	3,12
65.	148	174.000	3,63	25	2547	3,12
66.	148	174.000	3,63	30	2547	3,21
67.	148	174.000	3,63	35	2547	3,29
68.	148	174.000	3,63	40	2547	3,37
69.	148	174.000	3,63	45	2547	3,43
70.	148	174.000	3,63	50	2547	3,49
71.	148	174.000	3,63	55	2547	3,57
72.	148	174.000	3,63	60	2547	3,67
73.	148	174.000	3,63	65	2547	3,79
74.	148	174.000	3,63	70	2547	3,92
75.	148	174.000	3,63	75	2547	4,09
76.	148	174.000	3,63	80	2547	4,28
77.	148	174.000	3,63	85	2547	4,5
78.	148	174.000	3,63	90	2547	4,77
79.	148	174.000	3,63	95	2547	4,98
80.	148	174.000	3,63	100	2547	4,98
81.	148	174.000	3,63	60	0	4,28
82.	148	174.000	3,63	60	500	4,28
83.	148	174.000	3,63	60	1000	4,28
84.	148	174.000	3,63	60	1200	4,15
85.	148	174.000	3,63	60	1400	4,02
86.	148	174.000	3,63	60	1600	3,9
87.	148	174.000	3,63	60	1800	3,79

88	148	174.000	3,63	60	2000	3,7
89	148	174.000	3,63	60	2200	3,67
90	148	174.000	3,63	60	2547	3,67
91	148	174.000	3,63	60	2800	3,62
92	148	174.000	3,63	60	3100	3,53
93	148	174.000	3,63	60	3400	3,44
94	148	174.000	3,63	60	3700	3,33
95	148	174.000	3,63	60	4000	3,26
96	148	174.000	3,63	60	4250	3,26
97	148	174.000	3,63	60	4500	3,26
98	148	174.000	3,63	60	4700	3,26
99	148	174.000	3,63	60	4900	3,26
100	148	174.000	3,63	60	5180	3,26

G2. TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE

TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU OBIMA RADA ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE						
Red. br.	Raspoloživa vozna sredstva	Količina prevezene robe	Troškovi naknada za korišćenje želj.infrastrukture	Pouzdanost	Broj ozbiljnih nesreća	Ocjena obima rada
1	2000	5	4,1	70	2547	3,49
2.	2100	5	4,1	70	2547	3,49
3.	2200	5	4,1	70	2547	3,49
4.	2300	5	4,1	70	2547	3,49
5.	2400	5	4,1	70	2547	3,49
6.	2500	5	4,1	70	2547	3,49
7.	2600	5	4,1	70	2547	3,67
8.	2700	5	4,1	70	2547	3,92
9.	2800	5	4,1	70	2547	3,92
10.	2900	5	4,1	70	2547	3,92
11.	3000	5	4,1	70	2547	3,92
12.	3100	5	4,1	70	2547	3,92
13.	3200	5	4,1	70	2547	3,92
14.	3300	5	4,1	70	2547	3,92
15.	3400	5	4,1	70	2547	3,92
16.	3500	5	4,1	70	2547	3,92
17.	3600	5	4,1	70	2547	3,92
18.	3700	5	4,1	70	2547	3,92
19.	3850	5	4,1	70	2547	3,92
20.	4000	5	4,1	70	2547	3,92
21.	2509	5	4,1	70	2547	3,5
22.	2509	5,3	4,1	70	2547	3,94
23.	2509	5,6	4,1	70	2547	4,33
24.	2509	5,9	4,1	70	2547	4,67
25.	2509	6,2	4,1	70	2547	4,98
26.	2509	6,5	4,1	70	2547	5,27
27.	2509	6,8	4,1	70	2547	5,6

28.	2509	7,1	4,1	70	2547	5,6
29.	2509	7,4	4,1	70	2547	5,6
30.	2509	7,6	4,1	70	2547	5,6
31.	2509	7,9	4,1	70	2547	5,6
32.	2509	8,2	4,1	70	2547	5,6
33.	2509	8,5	4,1	70	2547	5,6
34.	2509	8,7	4,1	70	2547	5,6
35.	2509	9,0	4,1	70	2547	5,6
36.	2509	9,2	4,1	70	2547	5,6
37.	2509	9,4	4,1	70	2547	5,6
38.	2509	9,6	4,1	70	2547	5,6
39.	2509	9,8	4,1	70	2547	5,6
40.	2509	10	4,1	70	2547	5,6
41.	2509	5.000.000	0	70	2547	3,5
42.	2509	5.000.000	0,5	70	2547	3,5
43.	2509	5.000.000	1,0	70	2547	3,5
44.	2509	5.000.000	1,5	70	2547	3,5
45.	2509	5.000.000	2,0	70	2547	3,5
46.	2509	5.000.000	2,5	70	2547	3,5
47.	2509	5.000.000	3,0	70	2547	3,5
48.	2509	5.000.000	3,5	70	2547	3,5
49.	2509	5.000.000	4,0	70	2547	3,5
50.	2509	5.000.000	4,1	70	2547	3,5
51.	2509	5.000.000	4,5	70	2547	3,48
52.	2509	5.000.000	5,0	70	2547	3,48
53.	2509	5.000.000	5,5	70	2547	3,48
54.	2509	5.000.000	6,0	70	2547	3,48
55.	2509	5.000.000	6,5	70	2547	3,48
56.	2509	5.000.000	7,0	70	2547	3,48
57.	2509	5.000.000	7,4	70	2547	3,48
58.	2509	5.000.000	7,8	70	2547	3,48
59.	2509	5.000.000	8,0	70	2547	3,48
60.	2509	5.000.000	8,2	70	2547	3,48
61.	2509	5.000.000	4,1	0	2547	3,49
62.	2509	5.000.000	4,1	10	2547	3,49
63.	2509	5.000.000	4,1	15	2547	3,49
64.	2509	5.000.000	4,1	20	2547	3,49
65.	2509	5.000.000	4,1	25	2547	3,49
66.	2509	5.000.000	4,1	30	2547	3,49
67.	2509	5.000.000	4,1	35	2547	3,49
68.	2509	5.000.000	4,1	40	2547	3,49
69.	2509	5.000.000	4,1	45	2547	3,49
70.	2509	5.000.000	4,1	50	2547	3,49
71.	2509	5.000.000	4,1	55	2547	3,5
72.	2509	5.000.000	4,1	60	2547	3,5
73.	2509	5.000.000	4,1	65	2547	3,5
74.	2509	5.000.000	4,1	70	2547	3,5
75.	2509	5.000.000	4,1	75	2547	3,5
76.	2509	5.000.000	4,1	80	2547	3,5
77.	2509	5.000.000	4,1	85	2547	3,5
78.	2509	5.000.000	4,1	90	2547	3,5
79.	2509	5.000.000	4,1	95	2547	3,5

80.	2509	5.000.000	4,1	100	2547	3,5
81	2509	5.000.000	4,1	70	0	3,92
82	2509	5.000.000	4,1	70	500	3,92
83	2509	5.000.000	4,1	70	1000	3,92
84	2509	5.000.000	4,1	70	1200	3,92
85	2509	5.000.000	4,1	70	1400	3,92
86	2509	5.000.000	4,1	70	1600	3,9
87	2509	5.000.000	4,1	70	1800	3,79
88	2509	5.000.000	4,1	70	2000	3,7
89	2509	5.000.000	4,1	70	2200	3,62
90	2509	5.000.000	4,1	70	2547	3,5
91	2509	5.000.000	4,1	70	2800	3,45
92	2509	5.000.000	4,1	70	3100	3,37
93	2509	5.000.000	4,1	70	3400	3,28
94	2509	5.000.000	4,1	70	3700	3,18
95	2509	5.000.000	4,1	70	4000	3,12
96	2509	5.000.000	4,1	70	4250	3,12
97	2509	5.000.000	4,1	60	4500	3,12
98	2509	5.000.000	4,1	60	4700	3,12
99	2509	5.000.000	4,1	60	4900	3,12
100	2509	5.000.000	4,1	60	5180	3,12

G3. TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA						
Red. br.	Broj zaposlenih	Troškovi naknada za korišćenje želj. infrastrukture	Dobit po zaposlenom	Broj ozbiljnjih nesreća	Vozni kilometri	Ocjena efikasnosti i efektivnosti
1	400	3,63	3900	2547	1	5,01
2.	410	3,63	3900	2547	1	5,01
3.	420	3,63	3900	2547	1	5,01
4.	430	3,63	3900	2547	1	5,01
5.	440	3,63	3900	2547	1	5,01
6.	450	3,63	3900	2547	1	5,01
7.	460	3,63	3900	2547	1	5,01
8.	470	3,63	3900	2547	1	5,01
9.	480	3,63	3900	2547	1	5,01
10.	490	3,63	3900	2547	1	5,01
11.	500	3,63	3900	2547	1	4,94
12.	512	3,63	3900	2547	1	4,87
13.	520	3,63	3900	2547	1	4,77
14.	530	3,63	3900	2547	1	4,63
15.	540	3,63	3900	2547	1	4,49
16.	550	3,63	3900	2547	1	4,34
17.	560	3,63	3900	2547	1	4,18
18.	570	3,63	3900	2547	1	4,01

19.	580	3,63	3900	2547	1	3,83
20.	600	3,63	3900	2547	1	3,45
21.	512	0	3900	2547	1	5,63
22.	512	0,5	3900	2547	1	5,63
23.	512	0,9	3900	2547	1	5,63
24.	512	1,3	3900	2547	1	5,63
25.	512	1,7	3900	2547	1	5,63
26.	512	2,1	3900	2547	1	5,49
27.	512	2,5	3900	2547	1	5,3
28.	512	2,9	3900	2547	1	5,12
29.	512	3,3	3900	2547	1	4,97
30.	512	3,63	3900	2547	1	4,87
31.	512	3,7	3900	2547	1	4,87
32.	512	4,1	3900	2547	1	4,86
33.	512	4,5	3900	2547	1	4,71
34.	512	4,9	3900	2547	1	4,56
35.	512	5,3	3900	2547	1	4,4
36.	512	5,7	3900	2547	1	4,23
37.	512	6,1	3900	2547	1	4,04
38.	512	6,5	3900	2547	1	3,85
39.	512	6,9	3900	2547	1	3,65
40.	512	7,26	3900	2547	1	3,45
41.	512	3,63	2500	2547	1	3,42
42.	512	3,63	2700	2547	1	3,68
43.	512	3,63	2850	2547	1	3,87
44.	512	3,63	2900	2547	1	3,93
45.	512	3,63	3050	2547	1	4,1
46.	512	3,63	3200	2547	1	4,27
47.	512	3,63	3350	2547	1	4,42
48.	512	3,63	3500	2547	1	4,57
49.	512	3,63	3750	2547	1	4,8
50.	512	3,63	3900	2547	1	4,87
51.	512	3,63	4050	2547	1	4,9
52.	512	3,63	4200	2547	1	5,01
53.	512	3,63	4350	2547	1	5,01
54.	512	3,63	4500	2547	1	5,01
55.	512	3,63	4650	2547	1	5,01
56.	512	3,63	4800	2547	1	5,01
57.	512	3,63	5000	2547	1	5,01
58.	512	3,63	5200	2547	1	5,01
59.	512	3,63	5350	2547	1	5,01
60.	512	3,63	5500	2547	1	5,01
61.	512	3,63	3900	0	1	4,04
62.	512	3,63	3900	300	1	4,33
63.	512	3,63	3900	600	1	4,58
64.	512	3,63	3900	900	1	4,81
65.	512	3,63	3900	1200	1	5,03
66.	512	3,63	3900	1500	1	5,07
67.	512	3,63	3900	1900	1	5,03
68.	512	3,63	3900	2200	1	5,01
69.	512	3,63	3900	2547	1	4,87
70.	512	3,63	3900	2700	1	4,85

71.	512	3,63	3900	2850	1	4,85
72.	512	3,63	3900	3000	1	4,85
73.	512	3,63	3900	3180	1	4,85
74.	512	3,63	3900	3480	1	4,85
75.	512	3,63	3900	3680	1	4,85
76.	512	3,63	3900	3980	1	4,85
77.	512	3,63	3900	4280	1	4,85
78.	512	3,63	3900	4580	1	4,85
79.	512	3,63	3900	4880	1	4,85
80.	512	3,63	3900	5180	1	4,85
81.	512	3,63	3900	2547	1	4,87
82.	512	3,63	3900	2547	1,1	4,87
83.	512	3,63	3900	2547	1,2	4,87
84.	512	3,63	3900	2547	1,3	4,87
85.	512	3,63	3900	2547	1,4	4,87
86.	512	3,63	3900	2547	1,5	4,87
87.	512	3,63	3900	2547	1,6	4,87
88.	512	3,63	3900	2547	1,7	4,87
89.	512	3,63	3900	2547	1,8	4,87
90.	512	3,63	3900	2547	2,0	4,87
91.	512	3,63	3900	2547	2,1	4,87
92.	512	3,63	3900	2547	2,2	4,87
93.	512	3,63	3900	2547	2,3	4,87
94.	512	3,63	3900	2547	2,4	4,87
95.	512	3,63	3900	2547	2,5	4,86
96.	512	3,63	3900	2547	2,6	4,86
97.	512	3,63	3900	2547	2,7	4,86
98.	512	3,63	3900	2547	2,8	4,86
99.	512	3,63	3900	2547	2,9	4,86
100.	512	3,63	3900	2547	3	4,86

G4. TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE

TESTIRANJE FUZZY MODELA ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKOG OPERATERA ZA TRANSPORT ROBE						
Red. br.	Broj zaposlenih	Troškovi naknada za korišćenje želj.infrastrukture	Dobit po zaposlenom	Broj ozbiljnjih nesreća	Vozni kilometri	Ocjena efikasnosti i efektivnosti
1	600	4,1	46000	2547	1.5	5
2.	610	4,1	46000	2547	1.5	5
3.	620	4,1	46000	2547	1.5	5
4.	630	4,1	46000	2547	1.5	5
5.	640	4,1	46000	2547	1.5	5
6.	650	4,1	46000	2547	1.5	5
7.	660	4,1	46000	2547	1.5	5
8.	670	4,1	46000	2547	1.5	5
9.	680	4,1	46000	2547	1.5	5

10.	690	4,1	46000	2547	1.5	5
11.	700	4,1	46000	2547	1.5	5
12.	712	4,1	46000	2547	1.5	4,94
13.	720	4,1	46000	2547	1.5	4,84
14.	730	4,1	46000	2547	1.5	4,7
15.	740	4,1	46000	2547	1.5	4,56
16.	750	4,1	46000	2547	1.5	4,41
17.	760	4,1	46000	2547	1.5	4,25
18.	770	4,1	46000	2547	1.5	4,09
19.	780	4,1	46000	2547	1.5	3,91
20.	800	4,1	46000	2547	1.5	3,53
21.	712	0	46000	2547	1.5	5,71
22.	712	0,5	46000	2547	1.5	5,71
23.	712	1,0	46000	2547	1.5	5,71
24.	712	1,5	46000	2547	1.5	5,71
25.	712	2,0	46000	2547	1.5	5,66
26.	712	2,5	46000	2547	1.5	5,42
27.	712	3,0	46000	2547	1.5	5,22
28.	712	3,5	46000	2547	1.5	5,04
29.	712	4,0	46000	2547	1.5	4,94
30.	712	4,1	46000	2547	1.5	4,94
31.	712	4,5	46000	2547	1.5	4,94
32.	712	5,0	46000	2547	1.5	4,79
33.	712	5,5	46000	2547	1.5	4,62
34.	712	6,0	46000	2547	1.5	4,44
35.	712	6,5	46000	2547	1.5	4,24
36.	712	7,0	46000	2547	1.5	4,04
37.	712	7,4	46000	2547	1.5	3,86
38.	712	7,8	46000	2547	1.5	3,67
39.	712	8,0	46000	2547	1.5	3,58
40.	712	8,2	46000	2547	1.5	3,53
41.	712	4,1	30.000	2547	1.5	3,42
42.	712	4,1	31.500	2547	1.5	3,62
43.	712	4,1	33.000	2547	1.5	3,81
44.	712	4,1	34.500	2547	1.5	3,99
45.	712	4,1	36.000	2547	1.5	4,16
46.	712	4,1	37.500	2547	1.5	4,32
47.	712	4,1	39.000	2547	1.5	4,47
48.	712	4,1	40.500	2547	1.5	4,62
49.	712	4,1	42.000	2547	1.5	4,76
50.	712	4,1	44.000	2547	1.5	4,87
51.	712	4,1	45.500	2547	1.5	4,9
52.	712	4,1	47.000	2547	1.5	5,01
53.	712	4,1	48.500	2547	1.5	5,01
54.	712	4,1	50.000	2547	1.5	5,01
55.	712	4,1	51.500	2547	1.5	5,01
56.	712	4,1	53.000	2547	1.5	5,01
57.	712	4,1	54.500	2547	1.5	5,01
58.	712	4,1	56.000	2547	1.5	5,01
59.	712	4,1	58.000	2547	1.5	5,01
60.	712	4,1	60.000	2547	1.5	5,01
61.	712	4,1	46000	0	1.5	4,15

62.	712	4,1	46000	500	1,5	4,59
63.	712	4,1	46000	1000	1,5	4,97
64.	712	4,1	46000	1200	1,5	5,11
65.	712	4,1	46000	1400	1,5	5,09
66.	712	4,1	46000	1600	1,5	5,06
67.	712	4,1	46000	1800	1,5	5,05
68.	712	4,1	46000	2000	1,5	5,03
69.	712	4,1	46000	2200	1,5	5,02
70.	712	4,1	46000	2547	1,5	4,94
71.	712	4,1	46000	2800	1,5	4,94
72.	712	4,1	46000	3100	1,5	4,94
73.	712	4,1	46000	3400	1,5	4,94
74.	712	4,1	46000	3700	1,5	4,94
75.	712	4,1	46000	4000	1,5	4,94
76.	712	4,1	46000	4250	1,5	4,94
77.	712	4,1	46000	4500	1,5	4,94
78.	712	4,1	46000	4700	1,5	4,94
79.	712	4,1	46000	4900	1,5	4,94
80.	712	4,1	46000	5180	1,5	4,94
81.	712	4,1	46000	2547	1	4,94
82.	712	4,1	46000	2547	1,1	4,94
83.	712	4,1	46000	2547	1,2	4,94
84.	712	4,1	46000	2547	1,3	4,94
85.	712	4,1	46000	2547	1,4	4,94
86.	712	4,1	46000	2547	1,5	4,94
87.	712	4,1	46000	2547	1,6	4,94
88.	712	4,1	46000	2547	1,7	4,94
89.	712	4,1	46000	2547	1,8	4,94
90.	712	4,1	46000	2547	2,0	4,94
91.	712	4,1	46000	2547	2,1	4,94
92.	712	4,1	46000	2547	2,2	4,94
93.	712	4,1	46000	2547	2,3	4,94
94.	712	4,1	46000	2547	2,4	4,94
95.	712	4,1	46000	2547	2,5	4,94
96.	712	4,1	46000	2547	2,6	4,94
97.	712	4,1	46000	2547	2,7	4,94
98.	712	4,1	46000	2547	2,8	4,94
99.	712	4,1	46000	2547	2,9	4,94
100.	712	4,1	46000	2547	3	4,94