



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

**UPRAVLJANJE IZRADOM GENERALNIH  
PROJEKATA U OBLASTI  
INFRASTRUKTURE PRIMENOM  
VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:  
Prof. dr Dragoslav Šumarac

Kandidat:  
mr Izet Hot

Novi Sad, 2014. godine



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

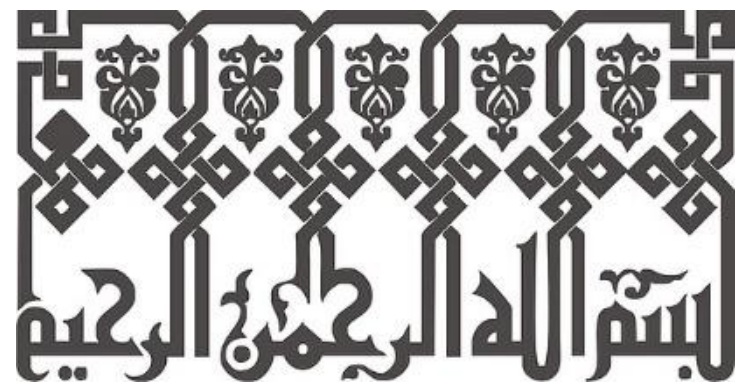
Redni broj, <b>RBR:</b>		
Identifikacioni broj, <b>IBR:</b>		
Tip dokumentacije, <b>TD:</b>	Monografska dokumentacija	
Tip zapisa, <b>TZ:</b>	Tekstualni štampani materijal	
Vrsta rada, <b>VR:</b>	Doktorska disertacija	
Autor, <b>AU:</b>	mr Izet Hot, dipl.ing.gradj.	
Mentor, <b>MN:</b>	Prof. dr Dragoslav Šumarac	
Naslov rada, <b>NR:</b>	<b>UPRAVLJANJE IZRADOM GENERALNIH PROJEKATA U OBLASTI INFRASTRUKTURE PRIMENOM VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE</b>	
Jezik publikacije, <b>JP:</b>	srpski	
Jezik izvoda, <b>Jl:</b>	srpski / engleski	
Zemlja publikovanja, <b>ZP:</b>	Srbija	
Uže geografsko područje, <b>UGP:</b>	Vojvodina	
Godina, <b>GO:</b>	2014.	
Izdavač, <b>IZ:</b>	autorski reprint	
Mesto i adresa, <b>MA:</b>	21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6	
Fizički opis rada, <b>FO:</b>	(broj poglavlja / stranica / slika / tabela / referenci / priloga) 8 / 148 / 44 / 23 / 96 / 4	
Naučna oblast, <b>NO:</b>	Tehničke nauke	
Naučna disciplina, <b>ND:</b>	Inženjerski menadžment	
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO:</b>	Višekriterijumska analiza, generalni projekat, koridor infrastrukturnog objekta, AHP metoda	
<b>UDK</b>		
Čuva se, <b>ČU:</b>	Biblioteka FTN, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad	
Važna napomena, <b>VN:</b>		
Izvod, <b>IZ:</b>	U radu je razvijen složeni model vrednovanja i rangiranja varijanti rešenja koridora infrastrukturnih linijskih objekata. Model karakteriše višeakterski i višekriterijumski pristup. Model je baziran na kriterijumima vrednovanja koji su razvrstani u pravilnu hijerarhiju i čija je relevantnost verifikovana naučnim metodama. Metoda vrednovanja odabrana je inteligentnim pristupom uz pomoć drveta odlučivanja. Model predviđa i analizu osetljivosti odabranog optimalnog rešenja na promenu težina pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja. Naučni doprinos istraživanja ogleda se u primeni AHP metode koja je u Srbiji po prvi put primenjena kao podrška odabiru optimalnog rešenja koridora infrastrukturnih objekata kao i prikazanoj integraciji sa drugim metodama (stakeholder analiza, anketa, deskriptivna statistika, faktorska analiza).	
Datum prihvatanja teme, <b>DP:</b>	09.09.2010.	
Datum odbrane, <b>DO:</b>		
Članovi komisije, <b>KO:</b>	Predsednik:	dr Ilija Ćosić, redovni profesor
	Član:	dr Milan Trivunić, redovni profesor
	Član:	dr Ćemal Dolićanin, profesor emeritus
	Član,komentor:	dr Predrag Atanasković, vanredni profesor
	Član,mentor:	dr Dragoslav Šumarac, redovni profesor
		Potpis mentora



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

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :		
Identification number, <b>INO</b> :		
Document type, <b>DT</b> :	Monograph documentation	
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material	
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis	
Author, <b>AU</b> :	Izet Hot, M.Sc.	
Mentor, <b>MN</b> :	Ph.D. Dragoslav Šumarac, professor	
Title, <b>TI</b> :	<b>MANAGEMENT OF CONCEPTUAL DESIGNS CREATION IN FIELD OF INFRASTRUCTURE BY USE OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS</b>	
Language of text, <b>LT</b> :	serbian	
Language of abstract, <b>LA</b> :	english / serbian	
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia	
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina	
Publication year, <b>PY</b> :	2014	
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint	
Publication place, <b>PP</b> :	21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovica 6	
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/picture/tables/ref./appendixes)	8 / 148 / 44 / 23 / 96 / 4	
Scientific field, <b>SF</b> :	Technical sciences	
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Engineering management	
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Multi-criteria analysis, general (conceptual) design, infrastructural corridor, AHP method,	
<b>UC</b>		
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad	
Note, <b>N</b> :		
Abstract, <b>AB</b> :	In this paper a complex model evaluation and ranking of alternative solutions of linear infrastructure corridor structure characterized multi-actor and multi-criteria approach, which is based on the evaluation criteria whose relevance was verified by scientific methods and are sorted in the correct hierarchy. Valuation method chosen is an intelligent approach using the tree decision. The model predicts, and a sensitivity analysis of the selected optimal solution to weight change some (or all) of evaluation criteria. The scientific contribution of the research is the application of AHP method that is in Serbia for the first time applied to support the selection of the optimal solutions corridor infrastructure as shown integration with other methods (stakeholder analysis, survey, descriptive statistics, factor analysis)	
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	09.09.2010.	
Defended on, <b>DE</b> :		
Defended Board, <b>DB</b> :	President:	Ph.D. Ilija Ćosić, professor
	Member:	Ph.D. Milan Trivunić, professor
	Member:	Ph.D. Ćemal Dolićanin, professor emeritus
	Member, comenthor:	Ph.D. Predrag Atanasković, associate professor
	Member, menthor:	Ph.D. Dragoslav Šumarac, professor
		Menthor's sign





*„Iqra...“*

*(Uči, proučavaj, izučavaj...)*

*... mojim 3N ...*

*... (Nedžmi, Nudžejmi i Nidžari) ...*

*Zahvala najprije pripada Jednom i Jedinom, Svemogućem Bogu, čijom voljom sam dospio do ovog dostignuća.*

*Bezuslovna zahvalnost pripada i mom mentoru, uvaženom Prof. dr Dragoslavu Šumarcu, koji je imao razumjevanja za sve moje napore, ukazao mi povjerenje i drage volje prihvatio da mi bude mentor. Nadam se da sam to njegovo povjerenje i opravdao.*

*Bezrezervnu zahvalu upućujem i članovima komisije za ocjenu i odbranu disertacije, uvaženim profesorima dr Iliji Čosiću, dr Milanu Trivuniću i dr Predragu Atanaskoviću, mom komentoru.*

*Najiskrenije se zahvaljujem i mojim uvaženim profesorima, dr Ćemalu Dolićaninu i dr Mladenu Pantiću, koji su me svojim roditeljskim savjetima, toplim riječima i nesebičnim zalaganjem motivisali da istrajem na ovom putu.*

*Srdačno se zahvaljujem i kolegama iz Saobraćajnog instituta CIP, naročito direktorima Novici Stevanoviću i Milisavu Andjelkoviću, na ustupljenim podacima bez kojih bi ovo istraživanje bilo daleko teže sprovesti.*

*Svima koji su dali i najmanji doprinos mom školovanju, naročito mom ocu Maliću (neka je Božiji rahmet na njega), mojoj majci, braći i sestrama, uz najsrdačnije zahvale, želim da osjete da njihova odricanja nisu bila uzaludna.*

*Nepotrebno je reći da mi je moja porodica, naročito supruga Amira, pružila nesebičnu podršku i neizmjernu toleranciju i razumjevanje u dugim danima mog odsustvovanja od kuće i satima provedenim za računom, a ponekad i za moj prividni nedostatak interesa ili pažnje za ono što je njima važno.*

*Svakako, ova disertacija je i njihov ogromni uspjeh.*

*Hvala im na svemu.*

*Izet Hot*

*U Tutinu, 05.02.2014. godine*

## SIMBOLI I SKRAĆENICE

---

VCO	Višeciljno odlučivanje
VKO	Višekriterijumska optimizacija
VKA	Višekriterijumska analiza
AHP	Analitički hijerarhijski proces
MAMCA	Metodologija višeakterske višekriterijumske analize
$M$	Matematički model u užem smislu
$U$	Skup uslova (ograničenja)
$u_1, u_2, \dots, u_m$	Elementi skupa $U$
$f$	Kriterijumska funkcija (ili funkcija cilja)
$D$	Područje definicije
$x$	$n$ – dimenzionalni vektor
$x_1, x_2, \dots, x_n$	Elementi $n$ – dimenzionalnog vektora $x$
$\mathbf{R}^n$	$n$ – dimenzionalni prostor
$A$	Skup alternativa
$a_{ij}$	Elementi skup alternativa
$C$	Skup kriterijuma odlučivanja
$w_i$	Relativne težine kriterijuma odlučivanja
$n_{ij}$	Normalizovana vrednost
$N$	Normalizovana matrica odlučivanja
$P$	Relacija preferencije
$I$	Relacija nerazlikovanja ili indiferencije
$J$	Relacija neusporedivosti ili nekomparabilnosti
$S$	Karakteristična relacija preferencijalne strukture
$X$	Skup svih mogućih rešenja
$E$	Skup efikasnih rešenja
$L_p$	<i>Lebesque</i> -ovoj broj
$\lambda_{max}$	Najveća karakteristična vrednost matrice $A$
$\lambda$	Karakteristična vrednost matrice $A$
$w$	Vektor težina
$CI$	Indeks konzistencije
$CR$	Odnos konzistencije
$RI$	Slučajni indeks

## SPISAK SLIKA

---

	Strana
Slika 1.1 Faze projektovanja infrastrukturnih linijskih objekata .....	3
Slika 2.1 Savremeni autoput .....	14
Slika 2.2 „Stari“ most u Mostaru, Bosna i Hercegovina, XVI vek .....	15
Slika 2.3 Qingdao Haiwan Bridge, Kina .....	16
Slika 2.4 Podela objekata za regulaciju vodotoka .....	19
Slika 2.5 Generalna shema telekomunikacione mreže .....	26
Slika 3.1 Izbor lokacije linijskih objekata u zavisnosti od faze projektovanja .....	28
Slika 3.2 Koraci u projektovanju linijskih infrastrukturnih objekata .....	29
Slika 3.3 Različiti nivoi odlučivanja u zavisnosti od faze projektovanja .....	30
Slika 3.4 Algoritam životnog veka infrastrukturnog objekta .....	31
Slika 3.5 Osnovni metodološki okvir projektnih faza linijskog objekta .....	32
Slika 4.1 Rasčlanjena struktura faza procesa odlučivanja .....	40
Slika 4.2 Osnovne faze procesa odlučivanja .....	41
Slika 4.3 Medjusobni odnosi činilaca sistema .....	42
Slika 4.4 Hijerarhijski model – AHP struktura .....	62
Slika 5.1 Metodologija višeaekterske višekriterijumske analize .....	74
Slika 5.2 Algoritmi optimizacionog procesa projektovanja koridora infrastrukturnih objekata .....	75
Slika 5.3 Složeni algoritam modela 3N-AHP za odabir optimalnog rešenja .....	76
Slika 5.4 Izdvojeni opšti algoritam Koraka 1 .....	77
Slika 5.5 Razvijeni algoritam Koraka 1 .....	78
Slika 5.6 Struktura metodološkog okvira analize zainteresovanih aktera .....	79
Slika 5.7 Matrica uticaja (snage) – interesa zainteresovanih aktera .....	79
Slika 5.8 Razvijeni algoritam Koraka 3 .....	83
Slika 5.9 Korak 4 – odabir metode odlučivanja pomoću drveta odlučivanja .....	86
Slika 5.10 Razvijeni algoritam Koraka 5 .....	87
Slika 5.11 Hijerarhijska struktura odabira optimalnog koridora .....	88
Slika 5.12 Poredjenje kriterijuma u parovima pomoću Saaty-eve skale .....	89
Slika 5.13 Prikaz vrijantnih rešenja koridora dela autoputa E-763 (Požega – Boljare) .....	97
Slika 5.14 Matrica uticaja/interesa zainteresovanih aktera .....	105
Slika 5.15 Hijerarhijski model ocene relevantnosti zainteresovanih aktera .....	107
Slika 5.16 Rezultati ocene relevantnosti zainteresovanih aktera .....	107
Slika 5.17 Hijerarhijska struktura razmatranog problema sa vrednostima kriterijuma (Deo 1) .....	117
Slika 5.18 Hijerarhijska struktura razmatranog problema sa vrednostima kriterijuma (Deo 2) .....	118
Slika 5.19 Konačne vrednosti (važnosti) alternativa u odnosu na zadati cilj .....	118

Slika 5.20	<i>Analiza osetljivosti - opcija Performance</i> .....	120
Slika 5.21	<i>Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Investiciono-gradjevinski kriterijum</i> ..	120
Slika 5.22	<i>Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Saobraćajno-eksploatacioni kriterijum</i> .....	121
Slika 5.23	<i>Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Prostorno-planski kriterijum</i> .....	121
Slika 5.24	<i>Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Ekološki kriterijum</i> .....	122
Slika 5.25	<i>Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Socio-ekonomski kriterijum</i> .....	122
Slika 5.26	<i>Analiza osetljivosti - opcija Hade to hade za par alternativa Istok 1 - Zapad</i> ..	123
Slika 5.27	<i>Analiza osetljivosti - opcija 2 D za par kriterijuma Socio-ekonomski i Gradjevinsko-investicioni</i> .....	124
Slika 5.28	<i>Analiza osetljivosti – opcija Dynamic iz čvora cilja</i> .....	124
Slika 5.29	<i>Analiza osetljivosti – opcija Dynamic iz čvora cilja, sa promenom prioriteta Socio-ekonomskog kriterijuma za 5%</i> .....	125

---

## SPISAK TABELA

---

	Strana
Tabela 2.1 <i>Podela objekata za transport vode</i> .....	20
Tabela 2.2 <i>Podela brana</i> .....	22
Tabela 4.1 <i>Matrica odlučivanja</i> .....	46
Tabela 4.2 <i>Saaty-eva skala relativne važnosti</i> .....	63
Tabela 4.3 <i>Vrednosti RI slučajnih indeksa</i> .....	65
Tabela 5.1 <i>Preliminarni skup atributa za vrednovanje koridora autoputa</i> .....	99
Tabela 5.2 <i>Uporedni prikaz vrednosti pokazatelja po varijantama (bazna matrica) ..</i>	100
Tabela 5.3 <i>Preliminarnai lista zainteresovanih aktera</i> .....	103
Tabela 5.4 <i>Zainteresovani akteri - vlasnici sistema</i> .....	103
Tabela 5.5 <i>Zainteresovani akteri - projektanti sistema</i> .....	103
Tabela 5.6 <i>Zainteresovani akteri - graditeljii sistema</i> .....	104
Tabela 5.7 <i>Zainteresovani akteri - korisnici sistema</i> .....	104
Tabela 5.8 <i>Identifikacija uticaja/interesa zainteresovanih aktera na uspeh projekta</i>	104
Tabela 5.9 <i>Matrica veza izmedju zainteresovanih aktera</i> .....	106
Tabela 5.10 <i>Rezultati deskriptivne statistike za kriterijume i podkriterijume</i> .....	110
Tabela 5.11 <i>Procenti varijanse rezultata faktorske analize za teorijski model kriterijuma</i> .....	111
Tabela 5.12 <i>Rotirana matrica koeficijenata s prikazom projekcije varijanse na teorijski model</i> .....	112
Tabela 5.13 <i>Pregled kompetentnosti učesnika procesa grupnog odlučivanja</i> .....	115
Tabela 5.14 <i>Bezdimenzionalna matrica odlučivanja</i> .....	116
Tabela 5.15 <i>Vrednosti prioriteta alternativa na osnovu sva tri modela</i> .....	126
Tabela 5.16 <i>Normalizovane vrednosti prioriteta alternativa na skali 0-1</i> .....	126
Tabela 5.17 <i>Zbirne vrednosti prioriteta alternativa na osnovu sva tri modela</i> .....	126
Tabela 5.18 <i>Rang alternativa na osnovu normalizovane vrednosti prioriteta</i> .....	126

---

## SADRŽAJ

---

	Strana
<b>POSVETA</b> .....	<b>ii</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>iii</b>
<b>SIMBOLI I SKRAĆENICE</b> .....	<b>iv</b>
<b>SPISAK SLIKA</b> .....	<b>v</b>
<b>SPISAK TABELA</b> .....	<b>vii</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>viii</b>
<b>REZIME</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DEO 1</b>	
<b>UVODNA RAZMATRANJA</b> .....	<b>1</b>
1.1 Predmet istraživanja .....	2
1.2 Cilj istraživanja .....	4
1.3 Polazišta - hipoteze .....	5
1.4 Primjenjene naučne metode u istraživanju .....	6
1.5 Rezultati istraživanja, naučni doprinos i primena .....	6
1.6 Kratak prikaz sadržaja rada .....	7
<b>DEO 2</b>	
<b>INFRASTRUKTURNI SISTEMI I KARAKTERISTIKE INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Pojmovi i definicije infrastrukture .....	9
2.2 Razvoj infrastrukture kroz istoriju .....	10
2.3 Značaj infrastrukture .....	10
2.4 Status infrastrukture .....	10
2.4.1 Organizaciono-tehnički status .....	11
2.4.2 Vlasnički status .....	11
2.4.3 Status sa aspekta lokacije .....	11
2.5 Klasifikacija infrastrukture .....	11

2.5.1	Saobraćajna infrastruktura .....	12
2.5.1.1	Putevi i ulice .....	13
2.5.1.2	Železničke pruge i stanice .....	14
2.5.1.3	Mostovi .....	15
2.5.1.4	Tuneli .....	16
2.5.1.5	Aerodromi .....	17
2.5.1.6	Ostali objekti saobraćajne infrastrukture .....	17
2.5.2	Hidrotehnička infrastruktura .....	18
2.5.2.1	Objekti za odbranu od poplava .....	18
2.5.2.2	Objekti za uredjenje vodotoka .....	18
2.5.2.3	Kanali i objekti na kanalima .....	19
2.5.2.4	Objekti za transport vode .....	20
2.5.2.4.1	Cevovodi .....	20
2.5.2.4.2	Hidrotehnički tuneli .....	21
2.5.2.5	Brane, akumulacije i regulacije protoka .....	21
2.5.2.6	Plovni putevi i pristaništa .....	22
2.5.3	Energetska infrastruktura .....	23
2.5.3.1	Sistemi električne energije .....	23
2.5.3.2	Prirodni gasovodi .....	24
2.5.3.3	Sistemi za proizvodnju i distribuciju nafte i naftnih derivata .....	24
2.5.3.4	Mreže za proizvodnju i distribuciju pare i tople vode .....	24
2.5.4	Telekomunikaciona infrastruktura .....	25
2.5.5	Ostala infrastruktura .....	26
2.5.5.1	Sistemi za upravljanje čvrstim otpadom .....	26
2.5.5.2	Mrežna infrastruktura .....	26
2.6	Rezime .....	27

### DEO 3

GENERALNI PROJEKAT INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA .....	28
3.1 Značaj procesa planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata .....	29
3.2 Metodologija projektovanja linijskih infrastrukturnih objekata .....	31
3.3 Generalni projekat linijskih infrastrukturnih objekata .....	33
3.3.1 Sadržaj Generalnog projekta .....	33
3.3.2 Koncept upravljanja izradom Generalnih projekata .....	34

### DEO 4

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA .....	36
4.1 Odlučivanje .....	37
4.1.1 Osnovni pojmovi, definicije i koncepti .....	37
4.1.2 Problem odlučivanja i analiza problema odlučivanja .....	39
4.1.3 Matematički modeli kao pomoć odlučivanju .....	41
4.1.4 Skup uslova i kriterijuma funkcije (funkcija cilja) .....	43
4.2 Osnovni pojmovi višekriterijumke optimizacije .....	44
4.2.1 Skup alternativa .....	46
4.2.2 Pojam i vrste atributa .....	47
4.2.3 Izbor atributa i njihova formulacija .....	48



4.2.3.1	Derivacija atributa .....	49
4.2.3.2	Grupisanje atributa .....	50
4.2.3.3	Transformacija kvalitativnih atributa .....	50
4.2.3.4	Interval skale .....	51
4.2.3.5	Normalizacija atributa .....	52
4.2.3.6	Dodeljivanje odgovarajućeg skupa težina atributa .....	52
4.2.4	Preferencijska struktura .....	53
4.2.5	Višeciljno odlučivanje .....	55
4.2.6	Višeatributivno odlučivanje .....	58
4.3	Metode višekriterijumskog odlučivanja .....	59
4.3.1	Podela metoda višekriterijumskog odlučivanja .....	59
4.3.2	Analitički hijerarhijski proces (AHP – Analytic Hierarchy Process) .....	61
4.3.2.1	Metodološke osnove AHP metode .....	61
4.3.2.2	Matematička osnova AHP metode .....	63
4.3.2.3	Konzistentnost donosioca odluke .....	65
4.3.2.4	Prednosti i nedostaci AHP metode .....	66
4.3.2.5	Pregled primene AHP metode .....	67
4.3.2.6	Grupno odlučivanje uz pomoć Expert Choice 11 .....	68

## DEO 5

DEFINISANJE NOVOG MODELA ZA IZBOR OPTIMALNOG REŠENJA KORIDORA LINIJSKIH INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA .....	71
5.1 Pregled i analiza literature o postojećim modelima .....	71
5.1.1 Osnovni nedostaci postojećih modela .....	72
5.1.2 Potreba za razvojem novih modela .....	73
5.2 Razvoj novog modela .....	73
5.2.1 Konceptcija novog optimizacionog modela 3N-AHP .....	74
5.2.1.1 Korak 1: Analiza i odabir relevantnih zainteresovanih aktera ...	76
5.2.1.1.1 Korak 1.1: Analiza zainteresovanih aktera .....	78
5.2.1.1.2 Korak 1.1: Odabir relevantnih zainteresovanih aktera .....	80
5.2.1.2 Korak 2: Analiza pokazatelja vrednovanja .....	81
5.2.1.3 Korak 3 Utvrđivanje relevantnih pokazatelja .....	82
5.2.1.4 Korak 4: Odabir metode odlučivanja .....	85
5.2.1.5 korak 5: Vrednovanje i rangiranje alternativa (AHP metoda).....	86
5.2.1.6 korak 6: Finalno odlučivanje .....	93
5.3 Primena modela 3N-AHP u realnim uslovima .....	94
5.3.1 Analiza postojeće studije vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja koridora autoputa E-763, Beograd - Južni Jadran, Sektor III: Požega - Boljare .....	95
5.3.1.1 Opis problema .....	95
5.3.1.2 Predmet rada .....	95
5.3.1.3 Korišćena metodologija .....	95
5.3.1.4 Korišćeni materijali .....	95
5.3.1.5 Prikaz varijanti koridora .....	95
5.3.1.6 Ciljevi, kriterijumi i pokazatelji vrednovanja .....	97
5.3.1.6.1 Ciljevi projekta .....	97
5.3.1.6.2 Kriterijumi i pokazatelji vrednovanja .....	98
5.3.1.7 Vrednovanje varijanti .....	101
5.3.1.7.1 Vrednovanje varijanti po metodi „SAW“ .....	101

5.3.1.7.2	Vrednovanje varijanti po metodi „PROMETHEE“ .....	101
5.3.2	Primena modela 3N-AHP u konkretnom slučaju .....	102
5.3.2.1	Korak 1: Analiza i utvrđivanje relevantnih zainteresovanih aktera.....	102
5.3.2.1.1	Korak 1.1: Analiza zainteresovanih aktera .....	103
5.3.2.1.2	Korak 1.2: Vrednovanje i rangiranje zainteresovanih aktera .....	106
5.3.2.2	Korak 2: Identifikacija preliminarnih kriterijuma .....	107
5.3.2.3	Korak 3: Određivanje relevantnih kriterijuma vrednovanja .....	108
5.3.2.3.1	Ispitanici u istraživanju .....	109
5.3.2.3.2	Rezultati statističke obrade prikupljenih podataka .....	109
5.3.2.3.3	Rezultati faktorske analize .....	109
5.3.2.4	Korak 4: Inteligentni odabir VKA metode .....	112
5.3.2.5	Korak 5: Vrednovanje i rangiranje alternativa .....	113
5.3.2.5.1	Korak 5.1: Razvoj hijerarhijskog modela odlučivanja .....	114
5.3.2.5.2	Korak 5.2: Poređenje atributa u parovima .....	114
5.3.2.5.3	Korak 5.3: Rangiranje alternativa .....	115
5.3.2.5.4	Korak 5.4: Analiza osetljivosti .....	119
5.3.2.6	Korak 6: Finalno odlučivanje .....	125
5.3.3	Usporedna analiza dobijenih rezultata .....	125

## DEO 6

ZAVRŠNA RAZMATRANJA .....	127
6.1 Zaključci .....	128
6.2 Pravci daljih istraživanja .....	128

## DEO 7

LITERATURA .....	130
------------------	-----

## DEO 8

PRILOZI.....	136
--------------	-----

Izbor modela za vrednovanje varijanti rešenja koridora infrastrukturnih objekata je, poput problema koji se njime rešava, višekriterijumski problem. Budući da ne postoji idealno, već samo optimalno rešenje, jasno je da će bilo koji odabrani model za vrednovanje varijanti rešenja imati određene, manje ili veće, nedostatke.

Kod najvećeg broja postojećih modela uočavaju se određeni nedostaci koji ili bitno utiču na objektivnost procesa izbora optimalnog rešenja ili utiču na njegovu suštinsku valjanost modela i čine ga neupotrebljivim. Veliki broj postojećih modela, i ako se baziraju na analizama više od jednog kriterijuma, ipak su jednokriterijumski, jer vrednovanje alternativa vrše pojedinačno po svakom kriterijumu. Vrlo često se kriterijumi (i podkriterijumi) vrednovanja usvajaju bez valjanog pojašnjenja o njihovoj relevantnosti. Proizvoljan odabir kriterijuma, makar pojedini od njih stvarno i bili relevantni, dovodi do pogrešnog odabira optimalnog rešenja.

S obzirom da su infrastrukturni objekti najčešće javno dobro, veoma je bitno ko je u stvari relevantan donosioc odluke u procesu odabira optimalnog rešenja. Da li je donosioc odluke isključivo nadležna državna institucija, sam projektant ili pak donešena odluka treba da bude produkt sveobuhvatnijeg procesa odlučivanja u kojem bi svi zainteresovani akteri na određeni način izrazili svoje zahteve prema nekom od alternativnih rešenja. Na žalost, najveći broj analiziranih modela govori isključivo o „donosiocu odluke“, ne precizirajući ko je „on“ u stvari. Čest je slučaj da se, bez dovoljnog sagledavanja prirode problema koji se rešava, odabere neadekvatna metoda višekriterijumskog odlučivanja, najčešće na bazi toga što je najjednostavnija ili se najlakše primenjuje na zadati problem ili je pak „u trendu“.

S obzirom na navedene nedostatke, nameće se potreba za razvijanjem potpunijeg, sveobuhvatnijeg modela, potpuno novog ili kao nadogradnje postojećih „zdravih“ modela.

U ovom radu je razvijen složeni model koji karakterišu višeakterski i višekriterijumski pristup. Model je baziran na kriterijumima vrednovanja koji su razvrstani u pravilnu hijerarhiju i čija je relevantnost verifikovana naučnim metodama. Metoda vrednovanja odabrana je inteligentnim pristupom uz pomoć drveta odlučivanja. Model predviđa i analizu osetljivosti odabranog optimalnog rešenja na promenu težina pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja.

**Ključne reči:** višekriterijumska analiza, generalni projekat, koridor infrastrukturnog objekta, AHP metoda.

## ABSTRACT

---

The choice of model for the evaluation of alternative solutions corridor infrastructure, like the problems that it solves, multi-criteria problem. Therefore that there is not only an ideal optimal solution, it is clear that any selected model for the evaluation of alternative solutions have some, minor or major flaws .

In most of the existing models are observed or certain deficiencies that significantly affect the objectivity of the selection process of the optimal solutions or affect its essential validity and make it unusable. A large number of existing model, and if it is based on an analysis of more than one criteria, essentially still single-criterion for evaluation of alternatives performed individually for each criterion. Very often, the criteria (and sub criterion) valuation adopted without a valid explanation of their relevance. Random selection criteria, even if some of them actually were relevant, leading to incorrect selection of the optimal solution.

Given that the infrastructure facilities usually a public good, it is very important who is in fact relevant to decision makers in the selection process of the optimal solutions. Is the decision maker solely responsible state institution, designer himself, or decisions made should be the product of a more comprehensive decision-making process in which all interested. Unfortunately, most of the studied models are exclusively concerned with decision-makers, do not state who he really is. It is often the case that, without sufficient consideration of the nature of the problem to be solved, choose inappropriate methods of multi-criteria decision making, usually on the basis that it is the simplest and most easily applied to a given problem or is it trendy.

Given these shortcomings, there is a need to develop a fuller, more comprehensive models as brand new or as an upgrade of existing models healthy.

In this paper a complex model that characterizes multi-actor and multi-criteria approach based on the evaluation criteria grouped in a proper hierarchy whose relevance was verified by scientific methods. Valuation method chosen is an intelligent approach using the decision tree. The model predicts, and a sensitivity analysis of the selected optimal solution to weight change some (or all) of evaluation criteria.

**Keywords:** multi-criteria analysis, general (conceptual) design, corridor infrastructure facility, AHP method.

### UVODNA RAZMATRANJA

Upravljanje predstavlja kontinualno dejstvo upravljačkih akcija kojima se utiče na parametre sistema, a sistem prevodi iz jednog stanja u drugo. Neizbežni pratilac procesa upravljanja je proces odlučivanja. Odlučivanje je sastavni deo svakodnevnog života ljudi pa se može reći da su upravljanje i odlučivanje, kao procesi, neophodni u svakom segmentu savremenog društva. Rezultat odlučivanja su odluke koje mogu varirati od onih koje su od vitalnog značaja pa do onih koje se donose rutinski i imaju relativno mali značaj. Prilikom donošenja odluka često se postavlja pitanje izbora najbolje.

Pre nego što je višekriterijumska analiza razvijena problemi izbora i rangiranja različitih odluka obično su se svodili na zadatke optimizacije jednog kriterijuma. Medjutim, u praksi se najčešće sreću zadaci gde alternative treba oceniti po više kriterijuma što problem čini znatno složenijim.

Proces projektovanja linijskih infrastrukturnih objekata na nivou Generalnog projekta sastoji se u sukcesivnom istraživanju i izboru optimalnog koridora. Za rešavanje ovako složenog procesa u praksi se primenjuje postupak izrade varijanti rešenja, vrednovanje varijanti i donošenje odluke o najpovoljnijem rešenju koji je, u osnovi, sličan postupku višekriterijumske optimizacije (VKO) za diskretne sisteme, [56]. Ovakav način projektovanja zahteva veliku kreativnost projektanta.

Naime, pred projektanta se postavlja naizgled jednostavan zadatak spajanja dve čvorne tačke trasom linijskog objekta. Medjutim, problem je veoma složen jer na jednoj strani treba zadovoljiti ekonomske kriterijume, na drugoj funkcionalnost i tehničku upotrebljivost objekta, na trećoj udovoljiti strogim kriterijumima zaštite životne sredine, socijalnog okruženja i drugo. Zbog toga se, u okviru Generalnog projekta, rade varijante rešenja više alternativnih koridora prostiranja linijskog objekta i na osnovu vrednosti njihovih parametara, po odredjenim kriterijumima, vrši izbor optimalnog.

Svaku fazu planiranja i projektovanja odredjuju dva parametra: širina pristupa problemu i nivo detaljnosti analiza. Pošto je planiranje i projektovanje infrastrukturnih objekata višeravanski uredjen proces, on u punoj meri zahteva da se izdvoje kao najbitniji koraci generisanje varijantnih rešenja i njihovo vrednovanje. Na osnovu ovih aktivnosti donose se odluke o prelasku na novu ravan (odnosno, u sledeću fazu planiranja/projektovanja) sa stepenom sigurnosti koji je srazmeran kvalitetu sprovedenih istraživanja, pri čemu se izdvajaju dva osnovna zadatka:

- odluka mora biti zasnovana na dovoljno detaljnim, nepristrasnim i pouzdanim, odnosno, relevantnim parametrima i
- odluka se verifikuje javnim i demokratskim odlučivanjem budući da je infrastruktura, najčešće, javno dobro koje se finansira iz zajedničkih sredstava.

U ovom radu pažnja se posvećuje izradi sveobuhvatnog modela odlučivanja koji bi u potpunosti odgovorio na jedan od navedenih zadataka, zadatku vrednovanja alternativnih rešenja.

### **1.1 Definisane problema istraživanja**

Infrastrukturni projekti predstavljaju onu vrstu projekata koje u praksi obično finansira država, odnosno, finansiranje se vrši novcem iz državnog budžeta koji se puni iz poreza koji plaćaju svi građani. Ovakvi projekti po svom obimu, sadržini i investicijama predstavljaju projekte velike vrednosti. Zato je u proces planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata na strateškom nivou, neophodno uključivanje svih zainteresovanih aktera.

U opštem smislu, izrada projektne dokumentacije za izgradnju infrastrukturnih objekata obuhvata izradu kompletne potrebne tehničke dokumentacije predviđene Zakonom o planiranju i izgradnji, [93]. U posebnom smislu, infrastrukturni projekti zahtevaju multidisciplinarn pristup većeg broja stručnjaka i struka u cilju iznalaženja većeg broja tehničkih rešenja kako bi se naučnim metodama i primenjenim metodologijama izvršio izbor optimalnog rešenja. Opšte je poznato da Generalni projekti daju veći broj tehničkih rešenja (u obavezi prema Zakonu) u oblasti infrastrukturnih objekata. Tehnička rešenja – varijante (alternative) rešenja predstavljaju jedinstvene poduhvate grupe stručnjaka koji uz primenu naučnih i tehničkih metoda rešavaju dati problem.

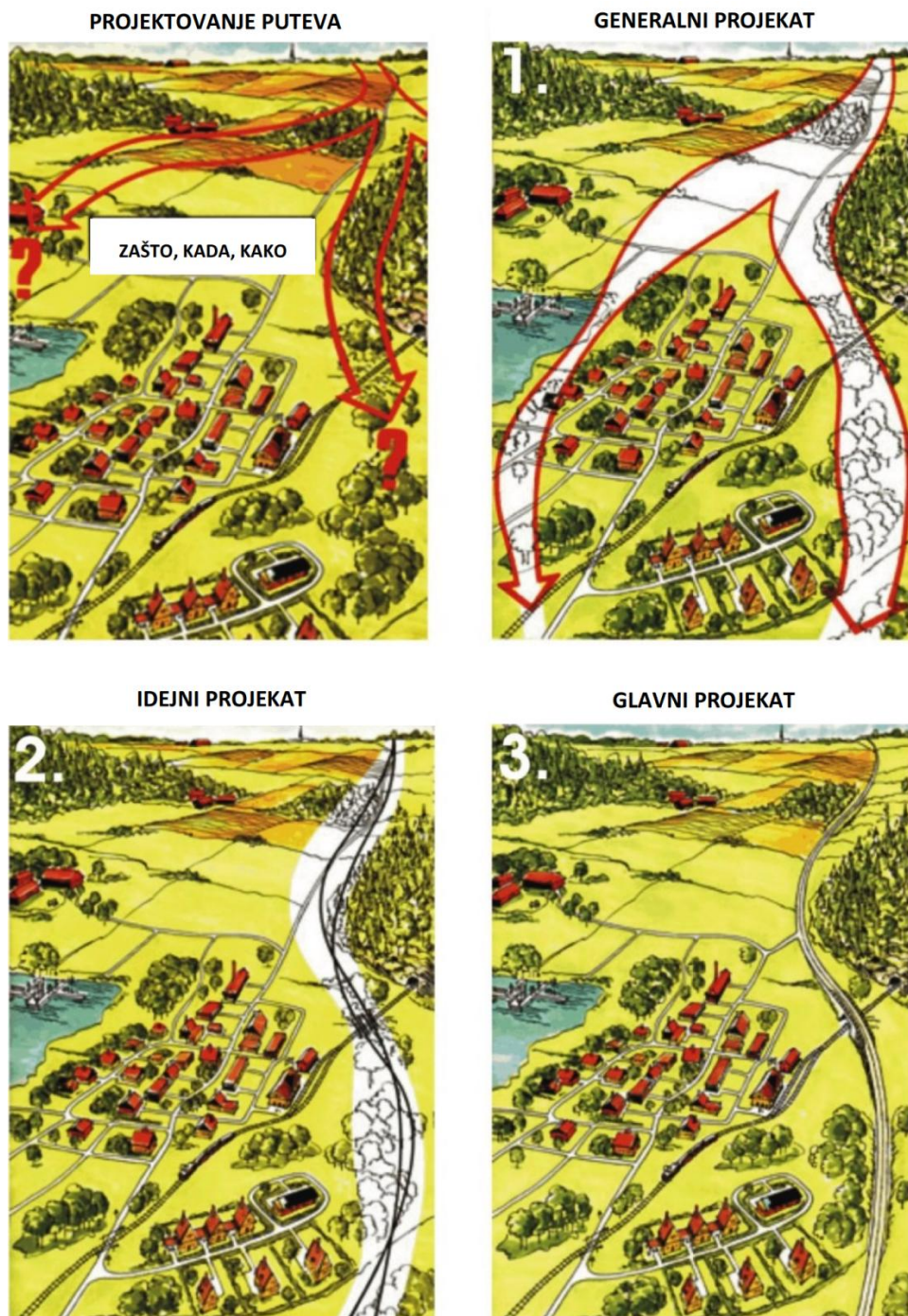
Zadatak projektanta (analitičara) na nivou izrade Generalnog projekta infrastrukturnog objekta je da izradi takav projektno-tehnički dokument koji će sadržati odgovore na sledeća pitanja:

- koja je najbolja, odnosno, optimalna makrolokacija i kakva je opšta dispozicija objekta,
- koja je najadekvatnija tehničko-tehnološka koncepcija objekta,
- koje su moguće varijante prostornih i tehničkih rešenja sa stanovišta funkcionalnosti i racionalnosti,
- na koje će se načine vršiti obezbedjenje infrastrukture,
- da se na osnovu uradjene procene definišu uticaji na životnu sredinu i
- koje su potrebe za eventualnom zaštitom prirodnih i kulturno-istorijskih vrednosti.

Proces planiranja i projektovanja linijskih infrastrukturnih objekata je izuzetno složen (Slika 1.1). Zato se on teško može kvalitetno i potpuno opisati samo jednim matematičkim modelom. Zbog toga se za svaki pojedini deo procesa formira zaseban matematički model. Tako se ceo proces može podeliti na tri osnovna dela:

- generisanje alternativa,
- vrednovanje i rangiranje alternativa i
- donošenje odluke o najpovoljnijem rešenju.

Analizom postojećih modela za vrednovanje i rangiranje alternativa koridora infrastrukturnih objekata došlo se do zaključka da kod najvećeg broja modela postoje određeni nedostaci koji bitno utiču na objektivnost procesa izbora optimalnog rešenja. U koliko bi ti nedostaci bili otklonjeni, model bi bio sposoban da pruži znatno jasniju sliku o značaju pojedinih kriterijuma za odabir optimalnog rešenja. Nadogradnja pojedinih modela omogućila bi dobijanje jasnije slike o medjuzavisnosti kriterijuma, zavisnosti izbora alternativa od značaja kriterijuma, ali i obrnuto, uticaj izbora anternativa na značaj, odnosno, težinu pojedinih kriterijuma.



**Slika 1.1:** Faze projektovanja infrastrukturnih linijskih objekata

Veliki broj postojećih modela, i ako se bazira na analizama više od jednog kriterijuma, u suštini su ipak jednokriterijumski jer vrednovanje alternativa vrše po svakom kriterijumu pojedinačno. S druge strane, određeni broj modela, i ako su u suštini višekriterijumski,

donekle neopravdano forsiraju određenu grupu kriterijuma (u poslednje vreme najčešće ekološke).

Sa aspekta primene modela odlučivanja u procesu odabira optimalnog prostornog rešenja linijskih infrastrukturnih objekata, kao vrste objekata koji su najčešće javno dobro, veoma je bitno ko je u stvari relevantan donosioc odluke. Da li je donosioc odluke isključivo nadležna državna institucija, sam projektant ili pak donešena odluka treba da bude produkt sveobuhvatnijeg procesa odlučivanja u kojem bi svi zainteresovani akteri na određeni način izrazili svoje zahteve prema nekom od alternativnih rešenja. Na žalost, najveći broj analiziranih modela govori isključivo o „donosiocu odluke“, ne precizirajući ko je „on“ u stvari. A i kada „on“ bude preciziran, i dalje ostaje dilema kada, u kojoj fazi i na koji način ga uključiti u proces odlučivanja, s obzirom da svi zainteresovani akteri nemaju istu težinu sa stanovišta uticaja, zainteresovanosti i važnosti za uspeh projekta. Još kada se tome doda i formalno-pravna odgovornost za donošenje odluka, postaje jasno da je valjana, naučno zasnovana analiza zainteresovanih aktera kao donosioca odluke i te kako nužna.

Analiza postojećih modela je pokazala da se vrlo često kriterijumi (i podkriterijumi) vrednovanja usvajaju bez valjanog pojašnjenja zašto su baš oni relevantni kriterijumi za odabir optimalnog rešenja. Proizvoljan odabir pojedinih kriterijuma, makar oni stvarno i bili relevantni pojedinačno, dovodi do pogrešnog odabira određenog alternativnog rešenja kao optimalnog iz nekoliko mogućih razloga: (i) oni nisu relevantni kriterijumi vrednovanja, (ii) oni jesu relevantni kriterijumi vrednovanja ali su neosnovano izdvojeni iz grupe ostalih relevantnih kriterijuma, pa su zbog toga dobili veći značaj (težinu) nego što im stvarno pripada, (iii) i ako su svi razmatrani kriterijumi relevantni, zbog pogrešne hijerarhije medju njima (pogrešnog klasterisanja, grupisanja) pojedini kriterijumi dobijaju veću, a drugi manju težinu od stvarno pripadajuće.

Čest je slučaj da se, bez dovoljno sagledavanja prirode problema koji se rešava, odabere neadekvatna metoda višekriterijumskog odlučivanja, uglavnom na osnovu toga što je najjednostavnija ili se najlakše primenjuje na zadati problem ili je pak „u trendu“.

Navedeni problemi veoma često su uzrok grešaka koje se javljaju prilikom izrade planske i projektne dokumentacije ili su uzrok pogrešnih odluka donesenih na bazi nedovoljno ili loše prikupljenih informacija, naučno nedovoljno utemeljenih analiza, pogrešno ili pak nedovoljno odgovorno sprovedenih procesa donošenja ovako važnih odluka. O ovome svedoče mnogi potezi infrastrukturnih mreža u Republici Srbiji, [6].

## **1.2 Ciljevi istraživanja**

S obzirom na nedostatke postojećih modela navedenih u prethodnoj tački (jednodimenzionalnost, proizvoljan odabir kriterijuma i metoda vrednovanja, često ili konstantno odsustvo analize osetljivosti odabira optimalnog rešenja na promenu težine pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja, nepostojanje ili pogrešno uspostavljanje hijerarhije medju elementima strukture modela kao i često nepostojanje valjane identifikacije zainteresovanih aktera (učesnika) čije je učešće i te kako značajno u procesu odlučivanja, naročito kod javnih objekata kakvi su i infrastrukturni), nameće se potreba razvijanja funkcionalnijeg modela za vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja koridora.

S toga je glavni cilj ovog istraživanja definisan na sledeći način:



- **C1:** izvršiti istraživanje, detaljno sagledati i analizirati postojeće modele upravljanja izradom projektne dokumentacije infrastrukturnih linijskih objekata na nivou razrade Generalnog projekta, postojeće modele vrednovanja i rangiranja varijanti prostornog rešenja (koridora), te na osnovu rezultata i zaključaka istraživanja razviti celoviti i sveobuhvatni model, potpuno nov ili pak kao nadogradnju nekog od postojećih „zdravih“ modela.

Budući model treba da karakteriše višakterski i višekriterijumski pristup. Kriterijumi vrednovanja, čija je relevantnost verifikuje naučnim metodama, trebaju biti razvrstani u pravilnu hijerarhiju (grupisani, klasterisani). Metoda vrednovanja i rangiranja treba biti odabrana inteligentnim pristupom odabira. Model treba da predvidi i analizu osetljivosti odabranog rešenja na promenu težine pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja. Model treba da bude sposoban da u proces odlučivanja, na pravilan i pravovremen način, na svakom nivou donošenja odluke (strateški, taktički i operativni) integriše sve zainteresovane aktere (učesnike) čija se relevantnost i težina verifikuju naučnim metodama.

Ovako definisan opšti cilj istraživanja nameće i niz specifičnih ciljeva. Ti ciljevi su:

- **C2:** predvideti naučno utemeljen način koji obezbedjuje identifikaciju, klasifikaciju i valorizaciju relevantnih zainteresovanih aktera (učesnika), te njihovo pravilno i pravovremeno uključivanje u proces odlučivanja na odgovarajućem nivou donošenja odluka, a sve u skladu sa stepenom njihove relevantnosti i značaja za uspeh projekta;
- **C3:** predvideti naučno utemeljen način identifikacije, derivacije, grupisanja (klasterisanja) i verifikacije relevantnosti kriterijuma vrednovanja alternativnih rešenja koridor linijskog infrastrukturnog objekta;
- **C4:** u celoviti model integrisati naučno prihvatljivo rešenje inteligentnog odabira adekvatne metode vrednovanja i rangiranja (metode višekriterijumske analize) varijanti rešenja;
- **C5:** validnost definisanog složenog modela verifikovati studijom slučaja.

### 1.3 Polazišta - hipoteze

Model, kao način opisa realnog sistema, ne obuhvata svu kompleksnost realnosti već samo one osobine i delove koji su od interesa za konkretno proučavanje. Zbog kompleksnosti fizičke situacije u realnom sistemu izdvajaju se samo značajne osobine fizičkih objekata. Prilikom modeliranja, optimizacije i korišćenja dobijenih rezultata potrebno je imati na umu sledeće, [55]:

- model je samo jedna od mogućih aproksimacija realnog sistema. Stepem njegove detaljnosti zavisi od postavljenog zadatka i optimizacione metode koja se koristi. Model koji bi obuhvatao sve detalje kompleksnog sistema bio bi nezgrapan i praktično neupotrebljiv za optimizaciju,
- zadatak modela je da pomaže istraživaču, a ne da ga zameni niti da ga oslobodi odgovornosti za donošenje odluka i
- model ne može da proizvede sasvim nove informacije o sistemu, ali omogućava da se na osnovu postojećih podataka bolje shvati sistem i njegovo ponašanje.

Imajući u vidu navedene činjenice, u istraživanje se krenulo od sledećih pretpostavki:

- **H1:** moguće je definisati naučno utemeljen način koji obezbeđuje identifikaciju, klasifikaciju i valorizaciju relevantnih zainteresovanih aktera (učesnika) u procesu, te njihovo pravilno i pravovremeno uključivanje u proces odlučivanja na odgovarajućem nivou donošenja odluka, a zatim utvrditi stepen njihove relevantnosti i značaj za uspeh projekta;
- **H2:** moguće je definisati naučno utemeljen način identifikacije, derivacije, grupisanja (klasterisanja) i verifikacije relevantnosti kriterijuma vrednovanja alternativnih rešenja, te iste koristiti kao polaznu osnovu za razvijanje hijerarhijskog modela odlučivanja;
- **H3:** moguće je na inteligentan način izvršiti odabir adekvatne metode vrednovanja i rangiranja (metode višekriterijumske analize) varijanti rešenja;
- **H4:** moguće je uz pomoć metode odabrane inteligentnim odlučivanjem izvršiti vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja u skladu sa njihovim relativnim težinama;
- **H5:** moguće je razviti složeni, celoviti model odlučivanja koji će u sebi integrisati odabir relevantnih učesnika, relevantnih kriterijuma i adekvatne metode VKA, te pomoću njega izvršiti odabir optimalnog rešenja koridora;
- **H6:** razvijeni model će biti upotrebljiv, odnosno, moguće ga je primeniti na realne probleme što je moguće proveriti na studiji slučaja.

#### **1.4 Primenjene naučne metode u istraživanju**

Tokom istraživanja korišćen je veći broj savremenih naučnih metoda. U zavisnosti od problematike i toka istraživanja korišćene su metode kojima se najjednostavnije i što preciznije dolazi do željenih rezultata. Nekada je bilo dovoljno za pojedini problem primeniti samo jednu metodu, nekada je bilo potrebno isti problem istražiti uz pomoć dve ili više metoda, ali se najčešće istraživanje baziralo na kombinovanoj primeni više različitih metoda.

Korišćene metode su sledeće: indukcija i dedukcija, dokazivanje i opovrgavanje, definicija i klasifikacija, analiza i sinteza, logička i komparativna metoda, metode stakeholder analize, anketiranje, deskriptivna statistika, faktorska analiza, višekriterijumska optimizacija, metoda AHP (Analitički hijerarhijski proces), analiza slučaja, te metoda matematičkog modeliranja praćena teorijom odlučivanja.

#### **1.5 Rezultati istraživanja, naučni doprinos i primena**

Kao rezultat istraživanja u okviru ovog rada razvijen je i testiran složeni model odlučivanja u procesu odabira optimalnog prostornog rešenja (koridora) infrastrukturnih linijskih objekata. Model je razvijen na osnovu proučavanja uradjenih prethodnih analiza i studija za izradu Generalnog projekta koridora autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor III: Požega - Granica sa Crnom Gorom (Boljare), [75]. Model je zasnovan na metodologiji višeakterske višekriterijumske analize MAMCA (The Multi Actor Multi Criteria Analysis methodology) (Macharis, 2007) (Slika 5.1) i na primeni jedne od metoda „meke“ optimizacije, Analitički hijerarhijski proces (AHP – The Analytic Hierarchy Process).

Tokom definisanja modela akcenat je stavljen na otklanjanje nedostataka uočenih analizom postojećih modela (bliže opisano u Tački 5.1.1). Predložena metodologija omogućava

celovito i sistematsko rešavanje problema u procesu odlučivanja kod odabira optimalnog prostornog rešenja infrastrukturnih linijskih objekata u skladu sa usvojenim kriterijumima i obezbedjivanjem pravovremenog i efikasnog učešća zainteresovanih aktera, nekada i kao donosioca odluke u pojedinim fazama.

Predloženi model optimizacije je kompleksan i u velikoj meri sveobuhvatan. Sastoji se od šest koraka koji su u suštini kompleksni kao i sam model. U svakom koraku definisan je poseban način (model) rešavanja pojedinih problema istraživanja te su kasnije integrisani u celovit model. Na ovakav način ostvareni su svi ciljevi istraživanja i potvrđene sve početne hipoteze.

Naučni doprinos istraživanja ogleda se u primeni AHP metode koja je u Srbiji po prvi put primenjena kao podrška odabiru optimalnog rešenja koridora infrastrukturnih objekata kao i prikazanoj integraciji s drugim metodama (stakeholder analiza, anketa, deskriptivna statistika, faktorska analiza). Ovo je prvi put da se na ovakav način integriše šest relativno nezavisnih procesa, te da se njihovom integracijom obezbedi kvalitetno učešće svih zainteresovanih aktera, blagovremeno i svrsishodno. Prvi puta se za vrednovanje varijantnih rešenja koridora koriste kriterijumi čija je relevantnost verifikovana naučnim metodama, ali se i prvi put metodom VKA odabranom na inteligentan, naučno prihvatljiv način, vrši vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja. Na kraju se stabilnost odabranog rešenja proverava analizom osetljivosti na promenu uticaja kriterijuma što do sada nije bio slučaj.

Mogućnost primena definisanog modela verifikovana je analizom konkretnog slučaja, te se sa pravom može reći da će imati značajnu ulogu u oblasti izrade Generalnih projekata infrastrukturnih objekata, makar kao kvalitetna polazna osnova za dalju nadogradnju.

## **1.6 Kratak prikaz sadržaja rada**

Na početku rada dat je popis svih slika i tabela koje se nalaze u radu. Takodje je dat i spisak korišćenih simbola i skraćenica. Nakon toga dat je sažaj rada te rezime na srpskom i engleskom jeziku.

U Delu 1, Uvodna razmatranja, prikazan je predmet i problem istraživanja. Istraživanje je vršeno u oblasti primene višekriterijumske analize na nivou izrade Generalnih projekata infrastrukturnih objekata. Predočeno je da se odabir optimalnog rešenja u ovoj oblasti najčešće vrši na osnovu ograničenog broja kriterijuma, te da se umesto višekriterijumskim, problem rešava jednokriterijumskim pristupom po svakom od malobrojnih kriterijuma pojedinačno. Naglašeno je takodje da ni modeli višekriterijumskog pristupa sveobuhvatno i celovito ne tretiraju problem, pogotovu kad je odabir relevantnih kriterijuma vrednovanja u pitanju. Često se ni ne pokušava definisati donosioc odluke, već se model razvija tako što se donosioc odluke označava kao „on“. Značaj, ozbiljnost i velika materijalna vrednost koju imaju infrastukturni projekti zahteva celovitiji pristup navedenom problemu, te se ističe potreba za razvijanjem jednog takvog modela. U uvodnim napomenama takodje su prikazani ciljevi istraživanja, osnovna polazišta (hipoteze), primenjene naučne metode i postignuti rezultati te je zatim dat naučni doprinos rada i kratak prikaz sadržaja rada.

U Delu 2, date su teorijske podloge o infrastrukturnim sistemima, navedeni osnovni pojmovi i definicije, dat istorijski pregled razvoja infrastrukturnih sistema te naglašen značaj i status infrastrukture. Akcentat je stavljen na klasifikaciju infrastrukture s obzirom na širinu pojma *infrastruktura*. Društvena infrastruktura, tzv. „laka“ infrastruktura nije razmatrana, već je, u

skladu sa ciljevima istraživanja, prioritet dat fizičkoj infrastrukturi i to isključivo onoj koja ima javni karakter. Naglašeno je da infrastrukturni objekti mogu biti linijski, površinski i prostorni, te su se linijski objekti detaljnije razmatrali. Navedena je kategorizacija javnih infrastrukturnih sistema u okviru koje je posebna pažnja posvećena objektima saobraćajne infrastrukture. Na kraju je dat rezime drugog dela.

U Delu 3, prikazani su mesto i uloga Generalnog projekta u procesu planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata, te su date definicije i sadržaj istog. Zatim se ukazuje na značaj planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata te se daje pregled postojeće metodologije projektovanja.

U Delu 4, date su osnove višekriterijumske optimizacije. Navedene su definicije osnovnih pojmova ovog procesa, pojašnjeno šta su kriterijumi vrednovanja i kako se mogu odrediti njihove težine, a onda su date i metode višekriterijumske analize gde je akcenat stavljen na AHP metodu koja je i korišćena za razvijanje definisanog modela.

U Delu 5, najpre je dat pregled postojećih modela odabira optimalnih rešenja koridora, te ukazano na njihove nedostatke koji proizvode potrebu za razvojem novih modela. Zatim je prikazan razvijeni integrisani model za odabir optimalnog rešenja infrastrukturnih objekata, 3N-AHP, a prikazana je i primena 3N-AHP modela na konkretnom primeru odabira optimalnog rešenja koridora autoputa E-763, Beograd - Južni Jadran, Sektor III: Požega – Boljare. Postupak odabira (vrednovanje i rangiranje) optimalnog rešenja razvijen je u šest koraka i to:

- analiza i odabir relevantnih učesnika (aktera),
- analiza pokazatelja vrednovanja varijanti rešenja,
- utvrđivanje funkcionalnih pokazatelja odabira,
- odabir metode odlučivanja,
- vrednovanje i rangiranje varijanti rešenja i
- finalno odlučivanje.

U Delu 6, Završna razmatranja, iznešeni su zaključci i naznačeni su pravci daljih istraživanja.

Na kraju rada, u posebnim delovima, navedena je literatura koja je korišćena u izradi disertacije i dati su odgovarajući prilozi.

---

## INFRASTRUKTURNI SISTEMI I KARAKTERISTIKE INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

Infrastruktura je osnov opstanka i razvoja civilizacije i takvu ulogu je imala od trenutka kada je čovek svesno oformio prvo stanište i kultivisao prve žitarice. Bilo je neophodno da, pored staništa, izgradi i prve primitivne infrastrukturne objekte kao što su bunari i spremište za proizvode koje je uzgajao. O ovim, kao i svim drugim infrastrukturnim objektima koji su potom sledili, naš daleki predak morao je da nauči da je pored njihove izgradnje veoma važna i efikasna eksploatacija i kvalitetno održavanje. Do dan danas, to je bio i ostao uslov i jedini način da ti objekti budu od pomoći ljudima kako sa ekonomskog tako i sa društvenog, kulturnog i političkog aspekta, [8].

### 2.1 Pojmovi i definicije infrastrukture

Značenje pojma "infrastruktura" nije potpuno određeno i podložno je različitim mišljenjima i tumačenjima. U etimološkom smislu pojam „infrastruktura“ je složenica sastavljena od dve reči: „infra“, što znači ispod, pod, dole i „struktura“, što znači način gradjenja, sklop, gradjevina, raspored, sastav. Shodno tome, striktno tumačenje ovog pojma bilo bi: saobraćajnice i tehničke instalacije koje su položene podzemno.

U domaćoj i svetskoj literaturi nailazi se na različite definicije pojma infrastruktura. U Lareusse-ovoj enciklopediji nalazi se jedna od opštih definicija infrastrukture prema kojoj se infrastruktura definiše kao „celina teritorijalnih instalacija neophodnih za definisanje odbrane“, [87]. Pored ove, u literaturi se nailazi još na niz opštih definicija, [26], koje uglavnom na identičan način opisuju ovaj pojam.

Danas se u oblasti tehničkih nauka infrastruktura generalno može definisati kao fizička i prostorna struktura, odnosno, objekti koji omogućavaju kretanje ljudi, dobara, proizvoda, vode, energije, informacija, otpada i sl. Ova definicija ne obuhvata vozila i zgrade, izuzev transportnih terminala. Kojom se god definicijom opisala infrastruktura, njena osnovna uloga od praistorijskih vremena do danas jeste da potpomaže i unapređuje ljudske aktivnosti [8].

## **2.2 Razvoj infrastrukture kroz istoriju**

Infrastruktura se ozbiljnije počinje razvijati zajedno sa razvojem sistema za prevoz, odnosno, prenos ljudi i materijalnih dobara (saobraćajni sistemi za prenos ljudi i roba i sistemi za prenos materijala kao što su: melioracioni kanali, vodovodni sistemi i sl.). O tome svedoče mnogobrojni tragovi starih civilizacija poput: rimske, starogrčke, mesopotamijske, egipatske i druge.

Sa razvojem nauke i društva uopšte, pojavljuju se i novi infrastrukturni sistemi poput sistema za prenos električne energije, sistema za prenos informacija, zvuka, slike i drugih signala. U XVIII veku zabeležen je značajan trend razvoja infrastrukturnih sistema u industrijalizovanim zemljama. Tada se javljaju i prvi ozbiljniji gradski vodovodni i kanalizacioni sistemi, sistemi javnog prevoza, putna infrastruktura i mostovi. Najveći broj modernih železnica sagradjen je u XIX veku, te je železnica postala i primarni sistem transporta. U XIX, veku dolazi i do značajne modernizacije tehnologije izgradnje putne infrastrukture korišćenjem betona i asfalta. XX vek je „zlatno“ doba razvoja velikih i kompleksnih infrastrukturnih sistema poput kanalizacionih sistema, sistema za snabdevanje gasom i električnom energijom, puteva i autoputeva, brana i melioracionih sistema. XX vek je doba kada se razvoju ovih sistema počinje pristupati na daleko ozbiljniji i strateški utemeljeniji način. Pridaje se važnost ne samo izgradnji novih sistema, već se na moderan način počinje planirati i njihovo održavanje, rekonstrukcija i rehabilitacija.

## **2.3 Značaj infrastrukture**

Američka Nacionalna naučna fondacija (National Science Foundation - NSF) definišući pojam infrastrukture ističe da su „napradak i slabljenje civilizacije usko povezani sa njenom mogućnošću da nahrani i zaštiti njene stanovnike i odbrani se; ove mogućnosti zavise od infrastrukture – podloge, često skrivenih temelja dobrobiti civilizacije i kvaliteta života; društvo koje zanemaruje svoju infrastrukturu gubi mogućnost prevoza ljudi i hrane, obezbeđivanja svežeg vazduha i vode, kontrole zaraznih bolesti i obavljanja privrednih poslova i trgovine“.

S druge strane, Američka asocijacija investitora (Associated General Contractor of America – AGCA), definišući infrastrukturu kaže: „Nacionalna infrastruktura je njen sistem javnih kapaciteta, finansiranih javnim i privatnim sredstvima, koji obezbeđuju osnovne usluge i održavaju životni standard; ovaj medjuzavisan, ali i pojedinačno jedinstven skup objekata obezbeđuje mobilnost, smeštaj, usluge i servise“. Pored ostalog, u definiciji ove asocijacije kaže se i: „Američka infrastruktura je osnova na kojoj se zasniva društvo; njeno stanje utiče na stil života i bezbednost pri čemu su oba ugrožena njenim propadanjem na koje se ne reaguje“.

Ove dve definicije sasvim jasno i nedvosmisleno ilustruju značaj infrastrukture. Svaki deo društva, svaka oblast, zavisna je od dobre i funkcionalne infrastrukture.

## **2.4 Status infrastrukture**

U zavisnosti od aspekta tretiranja statusa infrastrukture postoje i različite podele. Najčešće se status infrastrukture analizira sa organizaciono-tehničkog, vlasničkog i lokacijskog aspekta.

### **2.4.1 Organizaciono-tehnički status**

Posmatrano sa ovog aspekta infrastruktura može imati sledeći status:

- nacionalna ili regionalna infrastruktura (elektroenergetski, telekomunikacioni, gasovodni i drugi sistemi) i
- lokalna infrastruktura (vodovodni i kanalizacioni sistemi, sistemi javne rasvete, sistemi upravljanja otpadom i dr.).

### **2.4.2 Vlasnički status**

Bez obzira na činjenicu da zbog sve manje sposobnosti javnog sektora da preduzima značajna investiciona ulaganja u infrastrukturne sisteme, i dalje se može govoriti o klasičnoj, odnosno istorijskoj podeli infrastrukture prema vlasništvu, odnosno, načinu izgradnje i upravljanja infrastrukturnim sistemima.

Prema ovoj podeli infrastruktura ima sledeći vlasnički status:

- javna infrastruktura, čiju su izgradnju finansirale i o čijem se održavanju staraju javne ustanove, preduzeća ili agencije,
- privatna infrastruktura, izgrađena sredstvima privatnog sektora koji se sam o njoj stara i održava je i
- privatno-javna infrastruktura, koja je izgrađena zajedničkim sredstvima javnog i privatnog sektora ili je izgradio jedan sektor, a poverio na održavanje drugom sektoru ili pak to i dalje rade zajedničkim snagama.

### **2.4.3 Status sa aspekta lokacije**

Posmatrano sa ovog aspekta infrastruktura se može podeliti na: osnovne mreže, eksternu i internu infrastrukturu. U osnovne mreže spadaju primarni sistemi za proizvodnju i transport i obezbeđivanje glavnih komunikacija. Osnovne mreže su uglavnom u javnom vlasništvu i izgrađene na javnom zemljištu. Glavne tehničke instalacije i putevi do postojećih javnih vodova su osnovne mreže. Mreže koje se prostiru do granice lokacije spadaju u eksterne mreže koje najčešće finansira javni sektor i koje su smeštene na javnom ili pak privatnom zemljištu. Internu infrastrukturu čine sve instalacije unutar granica jedne parcele sa pripadajućim priključcima. Finansira se privatnim sredstvima i nalazi se na privatnoj lokaciji.

## **2.5 Klasifikacija infrastrukture**

Klasifikaciju infrastrukture moguće je napraviti na različite načine i za različite potrebe. Prema poreklu infrastruktura se deli na prirodnu i tehničku, prema funkciji na privrednu i neprivrednu, a prema obimu, odnosno, obuhvatu deli se na naseljsku i regionalnu. Prema značaju infrastruktura se deli na glavnu i dopunsku kao i na mikro i makro. Prema vidu potrošnje infrastruktura se deli na: individualnu, zajedničku i mrežnu, a prema rangu mreže u gradu na: primarnu, sekundarnu i tercijalnu.

Pored gore navedenih podela, sa formalno-pravnog aspekta, bitne su i sledeće podele: prema vlasničkoj strukturi (javna i privatna), prema načinu korišćenja (individualna i kolektivna) i prema statusu objekata (objekti u opštoj upotrebi i objekti kao osnovna sredstava).

Sa inženjerskog aspekta najbitnije su podele prema nameni objekata i prema položaju u prostoru. S obzirom na značaj, u ovom radu data je prednost javnoj nad privatnom infrastrukturom. Prema položaju infrastrukture u prostoru ona može biti: nadzemna i podzemna.

Radi jednostavnijeg tumačenja određenih stavova izvršena je podela javne infrastrukture prema nameni na sledeće oblasti, [8]:

- energetska infrastruktura (objekti, uređaji i sistemi električne energije, naftovodi, gasovodi, produktovodi i sl.),
- telekomunikaciona infrastruktura (telefonija, telegrafija, optički kablovi, zemaljske stanice veza, saobraćajna telematika i sl.),
- saobraćajna infrastruktura (putevi, železničke pruge i stanice, aerodromi, heliodromi, kontrola vazdušnog saobraćaja, unutrašnji plovni putevi i pristaništa i sl.),
- hidrotehnička infrastruktura (snabdevanje vodom, kanalisanje naselja, objekti za prečišćavanje otpadnih voda, navodnjavanje, odvodnjavanje i sl.) i
- ostala infrastruktura (deponije čvrstog otpada, javne površine za sport, rekreaciju i sl.).

Sa inženjerskog aspekta bitna je i podela prema karakteru konstrukcije infrastrukturnih objekata, odnosno, njihovog načina prostiranja na terenu. Prema ovom načinu infrastrukturni objekti dele se na:

- objekte linijske konstrukcije, „linijske“ objekte, gde spadaju svi infrastrukturni objekti čija je jedna dimenzija (najčešće dužina) značajno veća u odnosu na dve ostale dimezije koje su medjusobno slične ( $b, h \ll l$ ). U ovu kategoriju ubrajaju se: putevi, železničke pruge, cevovodi (naftovodi, gasovodi, vodovodi, kanalizacioni vodovi, produktovodi, daljinsko grejanje i dr.), kanalski vodovi, određene vrste nasipa, elektro vodovi, komunikacioni vodovi, pojedini mostovi i tuneli i drugo,
- objekte površinske konstrukcije, „površinske“ objekte, gde spadaju svi infrastrukturni objekti čija je jedna dimenzija (najčešće širina) značajno manja u odnosu na dve ostale dimezije koje su medjusobno slične ( $b \ll h, l$ ). U ovu kategoriju ubrajaju se: brane i druge vodoustave, traverzne, pera, potporni zidovi, aerodromi, heliodromi i drugo i
- objekte prostorne konstrukcije, „prostorne“ objekte, gde spadaju svi infrastrukturni objekti čije su sve tri dimenzije približno jednake veličine ( $b \approx h \approx l$ ).

### **2.5.1 Saobraćajna infrastruktura**

Saobraćaj predstavlja organizovano kretanje transportnih jedinica na zajedničkoj mreži koje je posledica primenjene tehnologije i potrebe za prevozom (transportom). Saobraćaj, kao veoma važna privredna delatnost, donosi značajnu ekonomsku korist, ali izaziva i velike štete kroz utrošak energije za kretanje i kroz druge negativne efekte (ugrožavanje okoline, saobraćajne nezgode, saobraćajna zagušenja itd.).

Prema načinu prevoza i prevoznim sredstvima na saobraćajnim putevima moguće je razlikovati sledeće vrste saobraćaja:



- kopneni saobraćaj, koji se deli na drumski, železnički, cevovodni, multimodalne kapacitete, sisteme masovnog transporta, saobraćaj sa prenosivim trakama i sl,
- vodni saobraćaj, koji se deli na pomorski, rečni, jezerski i kanalski,
- vazdušni saobraćaj,
- poštanski saobraćaj i
- telekomunikacioni saobraćaj.

Saobraćajna infrastruktura je sistem objekata i mera povezanih u funkcionalnu celinu sa osnovnim ciljem osiguranja nesmetanog i bezbednog transporta ljudi i roba, operacija utovara i istovara, pretovara, pakovanja, špediterskih i drugih usluga bez kojih se saobraćaj ne bi mogao odvijati.

Podela saobraćajne infrastrukture najčešće se vrši prema vidu saobraćaja kojem ona pripada. Shodno napred navedenoj podeli saobraćaja, saobraćajna infrastruktura može se podeliti na:

- puteve (drumove),
- železničke pruge i stanice,
- mostove,
- cevovode,
- prenosive trake,
- unutrašnje plovne puteve i pristaništa,
- aerodrome,
- pošte i
- telekomunikacione infrastrukturne sisteme.

U uvodu ovog poglavlja, radi lakšeg tumačenja pojedinih pojmova, napravljena je podela infrastrukture gde su pojedini infrastrukturni sistemi (telekomunikacioni, hidrotehnički i sl.), svrstani u posebne grupe infrastrukturnih sistema i ako se prema mnogim svojim karakteristikama, prevashodno svojoj nameni, ubrajaju i u saobraćajnu infrastrukturu.

### **2.5.1.1 Putevi i ulice**

Pod drumskom infrastrukturom podrazumeva se skup stabilnih objekata i uređaja koji služe za organizovanje i obavljanje transportne delatnosti nezavisnih od funkcionisanja transporta. Infrastrukturu u prevoznom smislu čine svi putevi u javnoj upotrebi sa svim pripadajućim objektima. Tu spadaju sve vrste i kategorije puteva, mostovi, vijadukti, tuneli, raskrsnice sa signalizacijom i drugo, [36]. Na Slici 2.1 prikazan je savremeni autoput. Autoputevi su u današnje vreme najviša saobraćajna klasa javnih puteva.

Puteve koriste mnogobrojni i raznovrsni subjekti: saobraćajna preduzeća, organizacije koje imaju vozne parkove, za sopstvene potrebe, pojedinci – vlasnici motornih vozila, zaprežna vozila, bicikli i pešaci. Velika raznolikost motiva za saobraćaj rezultirala je formiranjem različitih kriterijuma za klasifikaciju puteva, kao što su:

- stepen kategorisanosti,
- geopolitički kriterijum,
- funkcionalni kriterijum,
- eksploatacioni kriterijum i
- tehnički kriterijum.



**Slika 2.1:** *Savremeni autoput*

Trasa puta predstavlja prostornu konstrukciju u kojoj su objedinjeni elementi sve tri projekcije, prostorna slika puta sa tri koordinate (X,Y,Z). Trasa je unikatan proizvod – veliki izazov i odgovornost za projektanta. Ona predstavlja spoj lične veštine, inženjerskog osećaja, iskustva i vizionarskog sagledavanja zadatka od strane projektanta. Cilj projektovanja trase je funkcionalno, pouzdano i stabilno prostorno rešenje u inženjerskom pogledu, estetski oblikovano i uklopljeno u pejzaž, uz racionalne troškove izgradnje.

#### **2.5.1.2 Železničke pruge i stanice**

Projektovanje i izgradnja železničkih pruga ima tradiciju od nepunih 200 godina. Prva železnička pruga puštena je u saobraćaj u Engleskoj 1825. godine i imala je dužinu od 20 km. Već 1830. godine puštena je u saobraćaj i prva značajnija pruga dužine 51 km, od Mančestera do Liverpula. Iste godine sagradjena je i prva pruga u Severnoj Americi. Prva pruga u nekadašnjoj Jugoslaviji izgradjena je 1849. u Sloveniji. Godine 1884. izgradjena je prva pruga u Srbiji, od Beograda do Niša.

Železnički saobraćaj se, u odnosu na druge vidove saobraćaja, izdvaja posebnom konstrukcijom puta i vozila. Put po kome se realizuje železnički saobraćaj zove se kolosek. Kolosek čine dve šine na standardnom rastojanju koje su odgovarajućim pričvrsnim kolosečnim priborom povezane sa poprečno ili podužno postavljenim pragovima ili su preko elastičnih oslonaca položene na noseću podlogu (kolosek bez pragova). Glavna karakteristika železničkog puta je kretanje vozila po unapred definisanoj prostornoj putanji, određenoj voznim ivicama šina, sa koje vozilo, u normalnim uslovima, ne može da skrene.

Podelu železničkih pruga moguće je izvršiti na različite načine i na osnovu različitih kriterijuma. Neki od kriterijuma su: širina koloseka, broj koloseka, vrsta vuče, karakter terena koji okružuje trasu pruge, računsa brzina, značaj u međunarodnom saobraćaju i slično.

Železnička stanica je „predstavnik“ železnice koji ostvaruje kontakt sa privredom i putnicima i sa njima zaključuje ugovore o prevozu. Moguće je shvatiti je i kao organizatora i neposrednog izvršioca najvećeg dela tehničkih zadataka u transportu robe i putnika i u saobraćanju vozova, [35].

Usled različite namene i funkcije stanica i ostalih službenih mesta u železničkom saobraćaju postoje i razne klasifikacije stanica prema raznim parametrima. Polazni parametri za klasifikaciju stanica su: zadatak i tehnička sredstva stanice, karakter rada stanice, položaj stanice u mreži, šema stanice, značaj stanice itd.

### 2.5.1.3 Mostovi

Most je posebno projektovana (i konstruisana) gradjevina (objekat) koja put, odnosno, ulicu u nekom naselju, cevovod ili komunikacioni vod prevodi preko prirodne ili veštačke prepreke. Most je i „produžetak“ tih objekata preko prepreke koji obezbedjuje kontinuitet trase i kvalitet saobraćajnice, [80].

Mostovi su kroz ljudsku istoriju uvek imali važnu ulogu i najverovatnije su nastali po uzoru na prirodne oblike i kao potreba da se savladaju različite prepreke i rastojanja. Od tada pa do danas, mostovi su uvek bili važni državni projekti.

Prvi izgradjeni mostovi bili su namenjeni pešacima (Slika 2.2) i eventualnom prelazu životinja. Širina im je obično bila između 1-1,5 metara. I kao takvi, smatraju se prvim ozbiljnim putnim projektima koje je čovek namerno sagradio. Danas su mostovi, uz tunele, elementi kontinuiteta trase puta i ulice koji obezbeduju savladavanje svih prostornih prepreka.



**Slika 2.2:** „Stari“ most u Mostaru, Bosna i Hercegovina, XVI vek, jedan od najlepših pešačkih mostova na svetu

Tipologija mostova je veoma raznolika. Mostovi se dele po raznim kriterijumima, i to najčešće prema veličini otvora koji može biti od svega par metara pa do nekoliko kilometara. Shodno tome imamo male, srednje velike, velike, vrlo velike i mega mostove (Slika 2.3). Klasifikacija mostova prema materijalu od kojih su izgradjeni je još jedna od najčešće korišćenih podela. Mostovi mogu biti izgradjeni od drveta, kamena, opeke, metala, betona ili pak kombinacijom dva ili više materijala istovremeno. Namena mosta je kriterijum po kojem

se mostovi dele na: pešačke, biciklističke, drumske, železničke, industrijske, vojne ili pak višenamenske, odnosno, kombinovane. Prema opštem konceptu dele se na: nepokretne, pokretne, pontonske (plutajuće), jednopilonske, višepilonske, sa centralnim otvaranjem, kombinovane sa tunelima i slično.

Kakva god da je namena mosta, od kojeg god materijala da je izgradjen i kojem god statičkom sistemu pripadao, njegov nosivi sklop mora, poput svakog drugog objekta koji je čovek sagradio radi zadovoljenja različitih potreba, ispunjavati sledeće osnovne zahteve:

- funkcionalnost,
- sigurnost (pouzdanost),
- trajnost,
- ekonomičnost,
- zaštita životne sredine i
- izgled.

Navedeni zahtevi poredani su po važnosti, ali treba imati na umu da medju pojedinim od njih nije uvek podjednak "razmak". Ovo znači da pojedini od njih mogu biti i podjednako važni. Tako su podjednako važni funkcionalnost i pouzdanost, te zaštita životne sredine i izgled mosta. Osim toga, lako je uočiti da su ovi zahtevi i medjuzavisni, u manjoj ili većoj meri. Zbog sve većih dužina koje mostovi danas imaju, većina mostova se svrstava u „linijske“ infrastrukturne objekte. S toga je jedan od osnovnih zadataka tokom projektovanja trasiranje mostova, odnosno, odabir optimalne trase mosta.



**Slika 2.3:** *Qingdao Haiwan Bridge, Kina, dug 42,5 km, najduži most na svetu*

#### **2.5.1.4 Tuneli**

Tunel je podzemni prolaz koji je najmanje dvostruko duži od svoje širine. Zatvoren je sa svih strana osim otvora na svakom kraju. Izvodi se iskopom u steni ili tlu i po potrebi se oblaže. Uz tunele se povezuju i podzemne prostorije koje se izvode istom ili sličnom tehnologijom. Osnovna svrha tunela je da na optimalan tehničko-ekonomski način obezbedi prolaz određene saobraćajnice, hidrotehničke gradjevine, komunalne instalacije i sl.



Tuneli, kao deo saobraćajne infrastrukture, klasifikuju se prema svojoj nameni na: drumske, železničke, pešačke, brodske i tunele mešovite namene. Uporedo sa sve intenzivnijim razvojem saobraćaja, naročito drumskog, pojavljuje se i potreba za izgradnjom drumskih i drugih tunela. Dimenzije i oblik drumskih tunela zavise od inženjersko-geoloških uslova, hidroloških uslova, kategorije puta i sl. Trasa drumskih tunela može biti u pravcu ili u krivini. Oblik trase zavisi od dužine tunela, inženjersko-geoloških uslova, visinske razlike koju tunelom treba savladati i sl.

### **2.5.1.5 Aerodromi**

Prema Aneksu 14. Medjunarodne organizacije civilnog vazduhoplovstva (International Civil Aviation Organization - ICAO), aerodrom je određena površina na kopnu ili vodi koja obuhvata zgrade, instalacije i opremu, a namenjena je u celini ili delom: sletanju, uzletanju i kretanju aviona. Suštinski, aerodromi su objekti koji služe za odvijanje vazdušnog saobraćaja na zemlji. Prema nameni aerodromi su podeljeni na:

- civilne aerodrome, i to: za javni vazdušni saobraćaj, sportsko-turističke potrebe, letačku obuku i poljoprivrednu avijaciju,
- vojne aerodrome, koji su namenjeni samo za vojne potrebe i
- mešovite aerodrome, koji su u suštini vojni aerodromi, ali su u određenom obimu namenjeni civilnom saobraćaju.

Prema opremljenosti poletno-sletnih staza PSS (runways) aerodromi mogu biti korišćeni za vizuelno (neinstrumentalno) sletanje i instrumentalno sletanje. Oznaku kategorizacije čine kodni broj i kodno slovo. Kodnim brojem je označena referentna dužina potrebna za poletanje merodavnog aviona, a kodnim slovom raspon krila i raspon spoljašnje ivice spoljašnjeg točka stajnog trapa merodavnog aviona.

### **2.5.1.6 Ostali objekti saobraćajne infrastrukture**

U ostale objekte saobraćajne infrastrukture spadaju statički objekti čije je postojanje nužno za obavljanje prevoznog procesa. U ove objekte ubrajaju se:

- objekti sa fiksnim uređajima koji služe za održavanje i servisiranje vozila i objekti infrastrukture drumskog saobraćaja,
- autobuske stanice sa zgradama, uređajima i opremom za putnike (peroni) i za organizaciju primanja i otpreme putnika, parking prostor za autobuse,
- terminali (tranzitni, završni, početni),
- operativni prostori koji služe za smeštaj i tehnološku obradu robe na njenom putu od izvora do cilja,
- prateće prostorije putničkih zgrada namenjene za usluge korisnika terminala (ugostiteljske usluge, trgovinu i dr.),
- saobraćajna mreža na terminalu, površine za parkiranje motornih teretnih vozila,
- zatvoreni i otvoreni skladišni prostori i dr.

### **2.5.2 Hidrotehnička infrastruktura**

Hidrotehnička infrastruktura, u užem smislu, može se definisati kao skup hidrotehničkih objekata medjusobno povezanih u funkcionalnu celinu s ciljem delovanja na vode, odnosno,

ostvarenja potreba u odnosu na vode. Hidrotehnički objekti su složeni inženjerski zahvati koji se provode sa sledećim ciljevima:

- korišćenja voda - zahvatanje, pumpanje i upotreba površinskih i podzemnih voda za različite namene, vodosnabdevanje, energetske svrhe, navodnjavanje, za uzgoj riba, plovidbu, sport i rekreaciju i slično,
- zaštite od štetnog delovanja voda - mere za odbranu od poplava, zaštitu od leda, erozija i bujica, melioracijsko odvodnjavanje, regulacije vodotoka i slično i
- zaštite voda kao prirodnog resursa (kvalitativno i kvantitativno) - mere zaštite voda od zagađenja u cilju zaštite života i zdravlja ljudi i zaštite okoline (odvođenje otpadnih voda, uređaji za pročišćavanje, revitalizacija vodotoka) i slično.

Klasifikacija hidrotehničkih objekata se može sprovesti na osnovu različitih kriterijuma kao što su: konstrukcija objekata, namena (funkcionalnost), materijal od kojeg se izvode, položaj (površinski, podzemni objekti), veličina, uticaj na okolinu, na osnovu sistema u kojem se koriste itd. Shodno gore navedenim ciljevima zbog kojih se i grade ovi objekti, može se izvršiti njihova podelu prema funkciji na sledeće grupe objekata:

- objekti na vodotocima (objekti za zaštitu od štetnog delovanja voda i objekti za zaštitu voda kao prirodnog resursa),
- objekti za korišćenje voda i
- objekti na plovnim putevima.

#### **2.5.2.1 Objekti za odbranu od poplava**

Generalno, ovi se objekti mogu podeliti u dve grupe:

- Objekti za pasivnu zaštitu od poplava. Osnovni objekti ove grupe su hidrotehnički nasipi. To su regulacioni objekti van glavnog korita vodotoka čija je svrha zaštita područja od plavljenja velikim vodama. Prema funkcionalnim kriterijumima za nasipe je potrebno definisati: trasu, profil i presek. Složenost se ogleda u činjenici da odabir trase nasipa zavisi od niza faktora koji se mogu svrstati u: tehničku kategoriju, prostorno-plansku kategoriju, ekonomsku kategoriju, kategoriju zaštite životne sredine i druge;
- Objekti za aktivnu zaštitu od poplava, kojima se utiče na ublažavanje uzroka poplava. Najznačajniji zahvati iz ove kategorije su: uređeni sliv, uređeno korito vodotoka, retencije, akumulacije i kanali za rasterećenje.

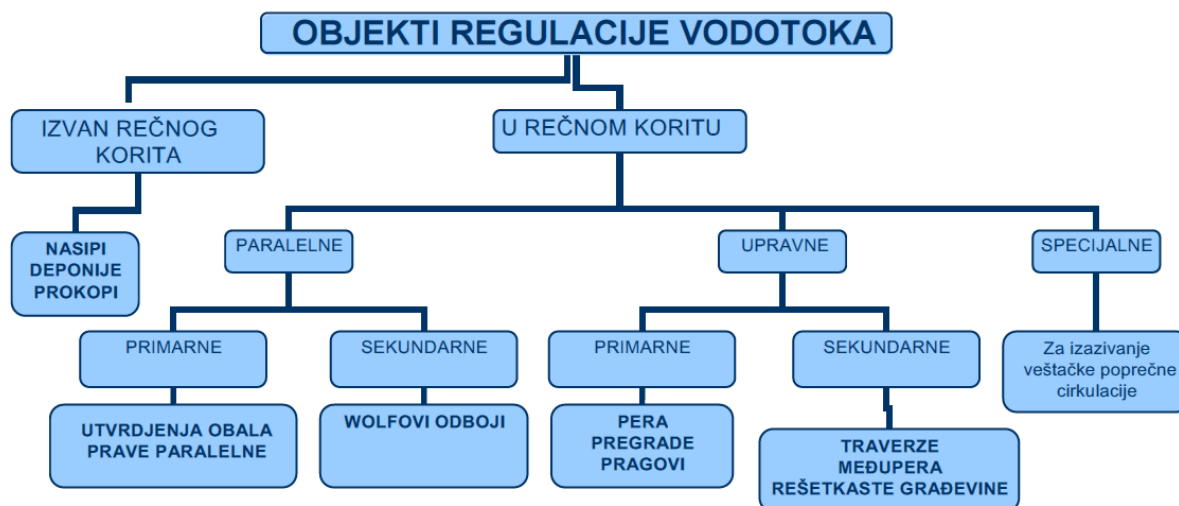
#### **2.5.2.2 Objekti za uredjenje vodotokova**

Regulacije prirodnih vodotoka su skup objekata i mera kojima se menjaju prirodne osobine na vodotoku i njegovom slivnom području iz sledećih razloga:

- što racionalnijeg korišćenja voda,
- što efikasnije zaštite od štetnog delovanja voda iz vodotoka i
- što efikasnije zaštite vodotoka od zagađenja.

Nužno je razlikovati regulacije korita vodotoka (morfološke regulacije) i regulacije vodnog režima. Regulacije korita vodotoka bave se uredjenjem korita i gradjevinama vezanim uz samo korito. Prema klasičnom poimanju regulacija vodotoka upravo su regulacije korita te

koje se opisuju tim terminom. Međutim, širi pojam regulacija vodotoka podrazumeva i regulisanje vodnog režima, [59]. Podela objekata za regulaciju vodotoka data je na Slici 2.4.



Slika 2.4: Podela objekata za regulaciju vodotoka

Melioracijsko odvodnjavanje spada u posebnu potkategoriju regulacija i nemoguće je odvojiti regulacije vodotoka od melioracijskog odvodnjavanja. Razlog je što ove dve komponente na jednome slivu čine jedinstvenu hidrografsku celinu.

Najznačajniji i najobimniji deo regulacije vodotoka je trasiranje korita vodotoka. Trasiranje je osnovni korak u svakom projektovanju. Njime se određuje crta koju će objekat pratiti. Trasiranje vodotoka nije proizvoljan proces, već ono ima svoja pravila i ograničenja. Korišćenjem saznanja o osnovnim morfološkim karakteristikama korita vodotoka, te korišćenjem pravila struke koja proizlaze iz iskustva, moguće je izvesti osnovna pravila prema kojima se treba upravljati prilikom definisanja geometrije korita vodotoka.

### 2.5.2.3 Kanali i objekti na kanalima

Kanali su veštački vodotokovi. Njima se voda kreće ili stoji, zavisno od namene kanala prema kojoj se kanali i dele. U praksi se najčešće sreću sledeće vrste kanala:

- kanali za rasterećenje – za odbranu od poplava,
- kanali za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta,
- odvodni kanali – za odvođenje vode s poljoprivrednog zemljišta,
- plovni kanali – za plovidbu i
- derivacioni kanali – za energetiku.

Pored navedenog, kanali mogu služiti za vodosnabdevanje, kanalizaciju, tranzit ribe, transport trupaca itd. Pored pojedinačne, pojedini kanali mogu imati i višestruku namenu, te se nazivaju višenamenskim kanalima. Imajući u vidu činjenicu da je svaki kanal, shodno svojoj nameni, projektovan prema određenim kriterijumima (uzdužni pad, poprečni profil, brzina protoka i sl.) koji se razlikuju u zavisnosti od namene, evidentno je da će bilo koje rešenje uvek predstavljati kompromis između tih suprostavljenih zahteva. S toga će usvojeno rešenje biti optimalno sa stanovišta svih zahteva, ali naravno neće biti optimalno sa stanovišta svakog kriterijuma ponaosob. Jednostavan razlog tome je što optimalno rešenje

složenog sistema nije prosti zbir optimuma po svakom kriterijumu ponaosob, tj. zbir optimuma za svaki podsistem.

Budući da mu je dužina znatno veća od njegove širine, kanal spada u kategoriju „linijskih“ objekata koji su definisani trasom, poprečnim profilom, merodavnim brzinama, odnosno, podužnim nagibom (padom), vrstom dna kanala (obloženo ili neobloženo) i objektima na samom kanalu.

Kao i kod svih „linijskih“ objekata, tako i kod kanala, izbor optimalne trase treba bazirati na istražnim radovima koji za rezultat imaju detaljne i upotrebljive topografske, hidrološke, hidrauličke, inženjersko-geološke, hidrogeološke i geotehničke podloge. S druge strane, izbor optimalne trase treba biti baziran na razmatranju niza varijanti rešenja kreiranih na dobijenim podlogama koje treba vrednovati sa aspekta racionalnosti, funkcionalnosti, izvodljivosti, troškova i slično.

#### 2.5.2.4 Objekti za transport vode

Podela objekata za transport vode prema konstrukciji i nameni prikazana je u Tabeli 2.1.

**Tabela 2.1: Podela objekata za transport vode**

<b>PREMA KONSTRUKCIJI</b>		
<i>kanali</i>	<i>tuneli</i>	<i>cevi (cevovodi)</i>
<b>PREMA NAMJENI</b>		
<i>kanali</i>	<i>tuneli</i>	<i>cevi (cevovodi)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kanali za rasterećiv.</li> <li>• kanali za navodnjavanje</li> <li>• kanali za odvodnju</li> <li>• plovni kanali</li> <li>• derivacioni kanali za HE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tuneli za vodosnabdevanje</li> <li>• tuneli za navodnjavanje</li> <li>• tuneli za odvodnju i drenažu</li> <li>• tuneli za kanalizaciju</li> <li>• dovodni, odvodni i reverzibilni tuneli hidroelektrana</li> <li>• obilazni tuneli</li> <li>• plovni tuneli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• derivacijski cevovodi pod n.pritiskom – zamjenjuju dovodne kanale i tunele</li> <li>• sifoni - spajaju deonice kanala ili tunela</li> <li>• cevovodi visokog pritiska kao dovodni objekti HE</li> <li>• cevovodi kao evakuacioni objekti</li> <li>• vodovod i odvodnja</li> </ul>
<b>PREMA USLOVIMAMA PROTOKA</b>		
	<b>POD SLOBODNIM PADOM</b>	<b>POD PRITISKOM</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kanali</li> <li>• Tuneli</li> <li>• Cevovodi – kanalizacija (zavisno od rešenju povremeno i pod pritiskom)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cevovodi</li> <li>• Tuneli</li> </ul>

##### 2.5.2.4.1 Cevovodi

Cevovod je sistem povezanih cevi i uredjaja koji služe za transport i/ili distribuciju vode, plina, nafte i sl. U praksi se cevi koriste za izradu cevovoda pod pritiskom za transport i distribuciju vode (vodosnabdevanje, navodnjavanje, hidroelektrane), te cevovoda za kanalizaciju (odvodjenja otpadnih i atmosferskih voda) koji mogu biti s protokom sa slobodnim padom i/ili povremeno pod pritiskom.

U cevovode se, zavisno od namene i veličine cevovoda, ugradjuju zatvarači (zasuni, ventili), muljni ispusti, vazdušni ventili, povratni, redukcion i sigurnosni ventili. Ugradjena oprema



osigurava pouzdano korišćenja cevovoda, doziranje vode, te otvaranje i zatvaranje cevovoda u slučajevima kvarova, pregleda, dogradnje i sl.

Cevovodi se izvode iznad terena, u rovu, u tunelu ili u objektima. Većina cevovoda se izvodi ispod površine terena (zatrpavanjem u rovu), a ostala se rešenja primenjuju u zavisnosti od veličine, svrhe i terenskih uslova (konfiguracije terena i njegovih svojstava).

#### **2.5.2.4.2 Hidrotehnički tuneli**

Tunel je podzemni prolaz koji je najmanje dvostruko duži od svoje širine. Zatvoren je sa svih strana osim otvora na svakom kraju. Izvodi se iskopom u steni ili tlu i po potrebi se oblaže. Uz tunele se povezuju i podzemne prostorije koje se izvode istom ili sličnom tehnologijom.

Hidrotehničke tunele definišemo kao linijski sistem provodnika vode s ciljem prostorne i vremenske raspodele vode, [59]. Analogno kao kanali, i hidrotehnički tuneli su definisani sa pet osnovnih karakteristika:

- namenom,
- trasom,
- poprečnim profilom,
- uzdužnim padom i niveletom i
- oblogom.

Samim tim, odabir trase hidrotehničkog tunela se vrši po analogiji na odabir trase ostalih linijskih objekata, naravno, sa nešto izmenjenim kriterijumima za vrednovanje. Prevažodno se teži da se tunel trasira pravolinijski, odnosno, po najkraćem rastojanju izmedju dve karakteristične tačke, tačka ulaza i tačka izlaza.

#### **2.5.2.5 Brane, akumulacije i regulacija protoka**

Brane su objekti hidrotehničke infrastrukture kojima se pregradjuju korita reka ili rečne doline sa ciljem zahvatanja i zadržavanja vode, nanosa i slično, [59]. Podela brana prema svrsi, materijalu od kojeg se grade i veličini data je u Tabeli 2.2.

Izbor tipa brane zasniva se na analiziranju i vrednovanju velikog broja kriterijuma kao što su: topografske i geološke karakteristike, raspoloživost materijala za izgradnju, seizmička zona u kojoj se brana nalazi, veličina preliva i njegova lokacija i dr. Izbor tipa brane se uglavnom vrši oslanjanjem na iskustvo projektanta i na njegov osećaj odabira optimalnog rešenja.

Akumulacija se stvara pregradjivanjem rečnog toka uz pomoć brane. Svrha stvaranja akumulacije je da se voda iz „izdašnog“, „vodnog“ perioda akumulira i sačuva za vreme manje izdašnog perioda. Na taj način se vrši regulisanje protoka i izravnavanje voda.

Tabela 2.2: Podela brana

Prema svrsi	Prema materijalu	Prema veličini
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akumulacione (jednonamenske, višenamenske)</li> <li>• Retencione (privremeno zadržavanje vode)</li> <li>• Zahvat vode (vodosnabdavanje, navodnjavanje, ...)</li> <li>• Kanalisanje reka (brane u nizu-veće dubine/plovnost)</li> <li>• Zadržavanje nanosa – pragovi</li> <li>• Nasipi (odbrana od poplava)</li> </ul>	Nevezani materijal <b>NASUTE BRANE:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>zemljane</b> brane od prirodnih materijala</li> <li>• od <b>kamenog nabačaja</b></li> </ul>	<b>VELIKE BRANE:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H \geq 15\text{m}</math></li> <li>• <math>5 \leq H \leq 15\text{ m}</math> ako je <math>V_{ak} = 3 \cdot 10^6 \text{m}^3</math> (volumen akumulacije)</li> </ul>
	Vežani materijal <b>BETONSKE BRANE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AB (retko)</li> <li>• u prošlosti: drvo, metal, zidane</li> </ul>	
<b>Prema evakuaciji vode</b>	<b>Prema načinu prenošenja opterećenja</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• prelivne – preliv na telu brane</li> <li>• neprelivne – preliv izvan tela brane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gravitacione</li> <li>• lučne</li> </ul>	

### 2.5.2.6 Plovni putevi i pristaništa

Luka je prirodno ili veštački zaštićen akvatorijum (vodena površina) sa funkcionalno pridruženim delom kopna, sa izgradjenim i neizgradjenim obalama, pretovarnim uređajima za utovar, odnosno, istovar robe i putnika, skladištenje, manipulisanje i preradu robe, pristajanje, sidrenje, popravak i zaštitu brodova od talasa, vodene struje, leda i ratne opasnosti, te odmor posade.

Pristanište je vrlo sličao luci, sa razlikom u stepanu zaštite akvatorijuma od smetnji sa plovnog puta. Pristanište, u principu, nema lukobran, već je akvatorijum u potpunosti otvoren ka moru i ograničen je samo zamišljenom crtom.

Najčešća smetnja radu u lukama je delovanje talasa na ljuljanje brodova u luci. Zato se lučki akvatorijum štiti lukobranom. Akvatorijum i lukobran su dva najznačajnija elementa luke kao sistema. Pored lukobrana, infrastrukturni objekti koji još mogu činiti jedinstveni sistem luke su podeljeni u dve grupe: na one koji se nalaze u zaštićenom lučkom akvatorijumu i one koji se nalaze van njega. Unutrašnji objekti su: kej, mol, gat, plutača i uređena obala. U spoljašnje objekte spadaju: lukobran, objekti za zaštitu od talasa, objekti za usporavanje talasa i utvrde obala.

Najznačajniji i najčešće gradjeni objekat medju napred navedenim je lukobran. Po tlocrtu (osnovi), lukobran može biti jednostran i dvostran. Tlocrtni delovi jednostranog (i svake strane dvostranog) lukobrana su: koren (spoj s kopnom na obalnoj crti), trup i glava kao ojačani morski završetak konstrukcije. Neki put lukobran nije spojen s kopnom pa onda nema koren, nego se sastoji od trupa i dve glave. Oni, osim zaštite od talasa, služe i protiv ostalih štetnih delovanja, na primer: struja i nanosa. Proširenu funkciju ima „operativni“ lukobran. Sastoji se od odbrambene krune na morskoj strani, a sa lučke strane je izgradjen kej tako da se mogu formirati brodski vezovi i eventualno postaviti mehanizacija za pretovar brodova.

Ponekad dužina lukobrana može prelaziti i nekoliko stotina metara. U tom slučaju lukobran postaje „linijski“ objekat pa trasiranje lukobrana postaje zahtevan i ne tako jednostavan posao.

### **2.5.3 Energetska infrastruktura**

Energetska infrastruktura se, u užem smislu, može definisati kao skup energetske objekata međusobno povezanih tako da čine jedinstvenu i funkcionalnu tehničko-tehnološku celinu.

Klasifikacija energetske infrastrukture najčešće se vrši na osnovu vrste energenta koji se proizvodi, prerađuje, transportuje ili distribuira putem tog sistema. Energenti su uglj, prirodni gas, nafta, derivati nafte, uljni škriljci, obnovljivi i drugi izvori energije.

Shodno napred navedenom kriterijumu, energetska infrastruktura se može podeliti na:

- mreže električne energije, uključujući i proizvodna postrojenja, električne rešetke, kao i lokalnu distribuciju,
- prirodne gasovode, terminale skladištenja i distribucije, kao i lokalne distributivne mreže,
- naftne cevovode, koji uključuju i skladišta kao i distributivne terminale. Ovde se mogu uključiti bunari nafte i rafinerije,
- specijalizovane objekte za uglj, u kojima se pere, skladišti i transportuje uglj, rudnici uglja i dr.,
- mreže za proizvodnju i distribuciju pare ili tople vode radi grejanja određenog područja i
- mreže električnih vozila.

#### **2.5.3.1 Sistem električne energije**

Elektroenergetska infrastruktura je skup međusobno povezanih elektroenergetskih objekata: elektrana, razvodnih postrojenja, transformatorskih stanica i elektroenergetskih vodova izgrađenih na teritoriji na kojoj su locirani potrošači i u njenoj bližoj okolini, sa ciljem obezbeđenja potrebne električne energije za sve tehnološke procese kod potrošača.

Električne mreže su sistemi postavljenih provodnika koji služe za razvod električne energije od transformatorske stanice do priključka potrošača. Preko mreža se energijom napajaju koncentracije prijemnika za električno osvetljenje, za motorni pogon, termički prijemnici, prijemnici u hemijskoj industriji itd. Mreže obezbeđuju neprekidno napajanje potrošača električnom energijom.

Mreže se dele na više načina. Prema naponu električne energije u mreži, dele se na: mreže niskog napona (do 1000 V) i mreže visokog napona (iznad 1000 V). Prema nameni za koju su izgrađene, dele se na: mreže za osvetljenje, za termiku, za hemiju, za industriju, za zavarivanje, za ulično osvetljenje i za mešovitu upotrebu. Prema vrsti struje koju prenose, dele se na: mreže jednosmerne struje i mreže naizmenične struje. Prema načinu izvođenja osnovnih elemenata mreže, dele se na: nadzemne (vazdušne) i podzemne (kablovske).

Vazdušne mreže se izvode golim provodnicima na stubovima pomoću konzola i izolatora za pričvršćivanje provodnika. One su pregledne, na njima se lako uočavaju i otklanjaju kvarovi.

Ne mogu se postavljati u urbanim naseljima, izložene su atmosferskim uticajima, u njima se javljaju prenaponi izazvani atmosferskim pražnjenjima.

Kablove mreže se izvode kablovima položenim u zemlji, kablovske kanale ili po zidovima. Skuplje su za izvodjenje, ali su trajnije i intenzitet otkaza im je veoma nizak.

Električna energija se proizvodi u elektroenergetskim postrojenjima (elektranama) i pomoću električne prenosne mreže se prenosi do električnih prijemnika u domovima i industrijskim objektima. Proizvodnja električne energije je proces kojim se druge vrste energije transformišu u električnu energiju.

Elektrane se prema početnom obliku energije koju koriste dele na:

- hidroelektrane (energiju vode pretvaraju u električnu energiju),
- termoelektrane (hemijsku energiju goriva (ugalj, nafta, prirodni gas) pretvaraju u električnu energiju),
- nuklearne ili atomske elektrane (atomske energiju dobijenu cepanjem jezgra urana (proces poznat kao fizija) pretvaraju u električnu energiju),
- solarne elektrane (energiju sunca pretvaraju u električnu energiju) i
- vertoelektrane ili vazdušne elektrane (energiju vetra pretvaraju u električnu energiju).

#### **2.5.3.2 Prirodni gasovodi**

Gasovodi su infrastrukturni sistemi koji su opremljeni potrebnim delovima i uređajima i koji služe za transport gasa. Sastoje se od: sistema za proizvodnju gasa, cevovoda za transport i distribuciju gasa, kompjuterskih stanica i kontrolnih centara, rezervoara za gas, servisnih centara za održavanje gasovoda i sl. Posmatrano sa inženjerskog stanovišta, najobimniji deo gasovoda je cevovod za transport i distribuciju. Samim tim se tokom projektovanja i izgradnje gasovoda, najveća pažnja i posvećuje upravo cevovodu koji je „linijski“ objekat.

#### **2.5.3.3 Sistem za proizvodnju i distribuciju nafte i naftnih derivata**

Objekti koji čine ovaj sistem dele se u dve grupe: objekti za proizvodnju i objekti za distribuciju nafte i naftnih derivata. U objekte za proizvodnju nafte spadaju pumpne stanice, stanice za razdvajanje nafte i gasa, rafinerije i drugo. U objekte za distribuciju nafte i naftnih derivata ubrajaju se: cevovodi, pumpne stanice, pomorski i kopneni terminali za tankere, rezervoari, kapaciteti za servisiranje i održavanje naftovoda i drugo.

Kao i kod gasovoda, najznačajniji segmenti naftovoda su cevovodi, pa je osnovni problem prilikom projektovanja naftovoda njegovo trasiranje, odnosno, odabir optimalne varijante trase naftnog cevovoda.

#### **2.5.3.4 Mreže za proizvodnju i distribuciju pare ili tople vode**

Mreže za proizvodnju i distribuciju pare ili tople vode su infrastrukturni sistemi koji služe za proizvodnju, sakupljanje i snabdevanje krajnjih potrošača parom i toplom vodom iz daljinskih centralizovanih izvora ili pojedinačnih izvora za grejanje. Ovi sistemi obuhvataju postrojenja za proizvodnju pare i tople vode, toplovodnu mrežu i podstanice potrošača.

#### 2.5.4 Telekomunikaciona infrastruktura

Reč „telekomunikacije“ se sastoji od grčke reči „tele“, koja znači daleko, i latinske reči „communication“, koja znači saopštavanje. Prema definiciji Medjunarodne telekomunikacione unije (International Telecommunication Union - ITU), telekomunikacije su: „Svako emitovanje, prenos ili prijem poruka na daljinu u vidu signala, od izvora informacija do korisnika, korišćenjem žičanih, radio, optičkih ili drugih elektromagnetnih sistema“.

Osnovna svrha telekomunikacija je prenos poruka na daljinu, od izvora informacija do korisnika informacija. Telekomunikaciona infrastruktura je sistem objekata i mera povezanih u funkcionalnu celinu sa osnovnim ciljem osiguranja nesmetanog i bezbednog prenos poruka na daljinu, od izvora informacija do korisnika informacija, korišćenjem različitih komunikacionih kanala i tehnologija.

XIX vek predstavlja prekretnicu u razvoju savremenih telekomunikacija. Tada se otpočelo sa intenzivnim istraživanjima elektromagnetnih fenomena, što je ubrzo dovelo do otkrića električnog telegrafa, telefona, radija, TV i dr. Telegraf i telefon se smatraju prvim savremenim telekomunikacionim sredstvima. Prvi komercijalni električni telegraf počeo je sa radom 1839. godine. Radio, televizija, mobilna telefonija i Internet su u današnje vreme najrasprostranjenija sredstva za telekomunikacije. Mnoge zemlje u svetu su značajno razvile svoje ekonomije zahvaljujući masovnoj upotrebi mobilnih komunikacija i relativno jeftinoj mobilnoj tehnologiji.

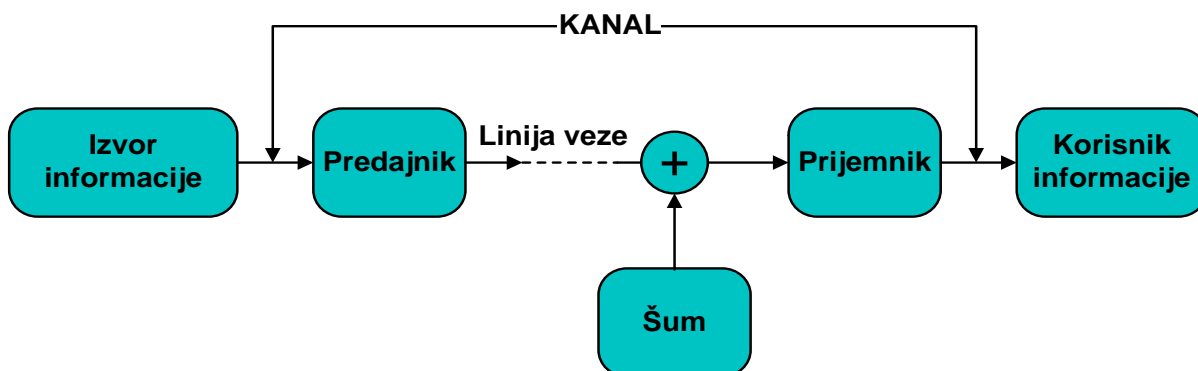
Osnovna podela telekomunikacionih mreža izvršena je prema vrsti servisa koje pružaju na sledeće kategorije:

- telefonske mreže (analogne, digitalne i mobilne),
- računarske mreže (LAN-lokalne, MAN-gradske, WAN-regionalne, nacionalne i globalne),
- radiodifuzne i TV mreže,
- integrisane mreže (objedinjuju karakteristične servise),
- N-ISDN, uskopolasne integrisane mreže (prenos telefonskih i signala podataka), i
- B-ISDN, širokopolasne integrisane mreže (prenos telefonskih, signala podataka i pokretne slike).

Telekomunikacione mreže, bez obzira na vrstu servisa, mogu se prikazati jedinstvenom generalizovanom shemom (Slika 2.5). Elementi prikazani na shemi se definišu na sledeći način:

- izvor informacija, generiše poruke (govor, tekst, podaci, muzika, slika) koje treba preneti do korisnika informacije,
- predajnik, ima zadatak da izabranu poruku pretvori u signal podesan za prenos po liniji veze (na primer, mikrofona u telefoniji koji vrši konverziju promenljivog zvučnog pritiska u električnu struju),
- linija veze, predstavlja sredinu kroz koju se signal prenosi od predajnika do prijemnika (fizički vod ili slobodan prostor kroz koji se prostiru radio talasi ili snop svetlosti). To može biti jednostavna linija veze ili kompleksna mreža koja spaja izvor i odredište. To je deo sistema u kome se javljaju osnovne teškoće u prenosu poruka (slabljenje, izobličenja, šumovi, interferencija),

- prijemnik, obavlja inverznu operaciju predajniku – pretvara primljeni električni signal u oblik pogodan za prijem i
- korisnik, predstavlja osobu kome je poruka namenjena.



**Slika 2.5:** Generalna shema telekomunikacione mreže

Sa stanovišta građevinske struke, element telekomunikacione mreže koji se najviše tretira je linija veze koja, prema vrsti medijuma koji koristi za prenos signala, može biti (žičana/kablovska) ili sa navodjenim elektromagnetnim talasima (bežična).

U koliko se radi o žičanoj/kablovskoj vezi, onda takva linije veze postaje značajan infrastrukturni linijski objekat koji mora imati svoje mesto u prostoru, svoju trasu, pravac prostiranja i sve prateće objekte neophodne za njeno pravilno i nesmetano funkcionisanje.

## 2.5.5 Ostala infrastruktura

### 2.5.5.1 Sistemi za upravljanje čvrstim otpadom

Ovaj sistem čini skup statičkih objekata namenjenih za prikupljanje i preradu, odnosno, reciklažu čvrstog otpada i smeća. Tu spadaju:

- deponije čvrstog otpada,
- postrojenja za spaljivanje čvrstog otpada, kao i postrojenja za gasifikaciju plazme,
- postrojenja za oporavak materijala i
- postrojenja za odlaganje opasnog otpada.

### 2.5.5.2 Mrežna infrastruktura

U ovaj infrastrukturni sistem spadaju objekti, oprema i uređaji za praćenje i merenje mreža i same mreže kao što su:

- praćenje meteorološke mreže,
- praćenje mreže plime,
- praćenje obima padanja kiše,
- geodetski parametri,
- GPS mreža i
- infrastruktura prostornih podataka.

## 2.6 REZIME

S obzirom da pojam „infrastruktura“ nije jasno i precizno definisan, može se reći da postoji veliki broj sistema koji služe zadovoljenju različitih potreba čoveka, a koji se mogu svrstati u infrastrukturne sisteme. U ovom poglavlju naveden je niz najznačajnijih sistema koji se ubrajaju u infrastrukturne, te su date osnovne karakteristike i namene tih sistema.

Bez obzira na raznorodnost, infrastrukturni sistemi mogu se grupisati na osnovu različitih kriterijuma. Svaki infrastrukturni sistem čini niz objekata, uređaja, opreme i mera koji su međusobno povezani u jedinstvenu i funkcionalnu celinu.

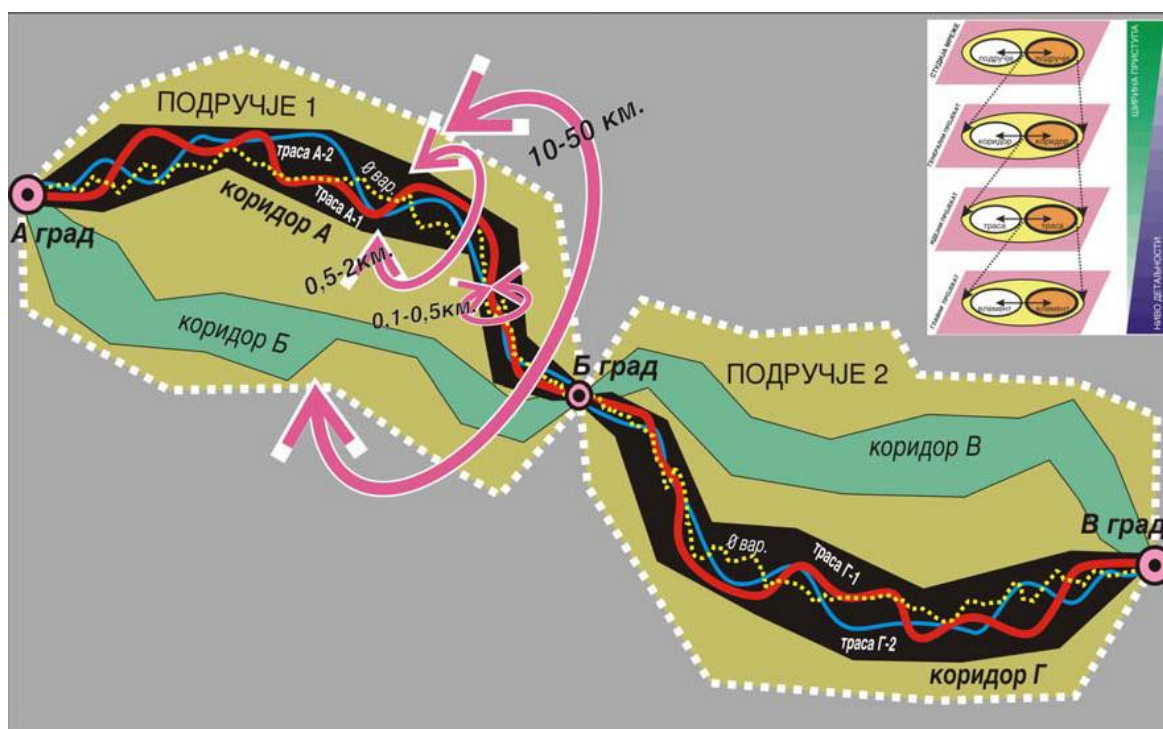
Većina infrastrukturnih sistema služi za proizvodnju, transport i/ili distribuciju određenog materijalnog dobra ili usluge ili transport ljudi s jednog mesta na drugo. S toga se sistem „proteže“ na velika rastojanja čime infrastrukturni objekti poprimaju značajno veće dužine u odnosu na druge dve svoje dimenzije. Time poprimaju karakter linijskog objekta koji se kroz prostor „proteže“ tačno definisanom trasom.

Shodno tome, posmatrano sa inženjerskog stanovišta, odabir optimalnog zemljišnog pojasa prostiranja linijskih infrastrukturnih objekata postaje preovladavajući problem prilikom projektovanja infrastrukturnih sistema, naročito na nivou izrade Generalnog projekta čija je izrada po našem zakonodavstvu obavezna za infrastrukturne objekte novogradnje.

## GENERALNI PROJEKAT INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

Projektovanje predstavlja stručni rad kojim projektant planski, postupno, sistematski i konceptijski razradjuje svoju ideju o izgradnji nekog objekta. Ideja projektanta prikazana opisno, računski, grafički i sa svim neophodnim tehničko-ekonomskim pokazateljima, materijalizovana u obliku makete, crteža i tehničke dokumentacije, naziva se projekat. Tako predstavljena ideja projektanta postaje dostupna i osobama koje nisu učestvovalе u njenoj razradi, a omogućuje njenu kontrolu, realizaciju (gradjenje), eksploataciju i održavanje [6].

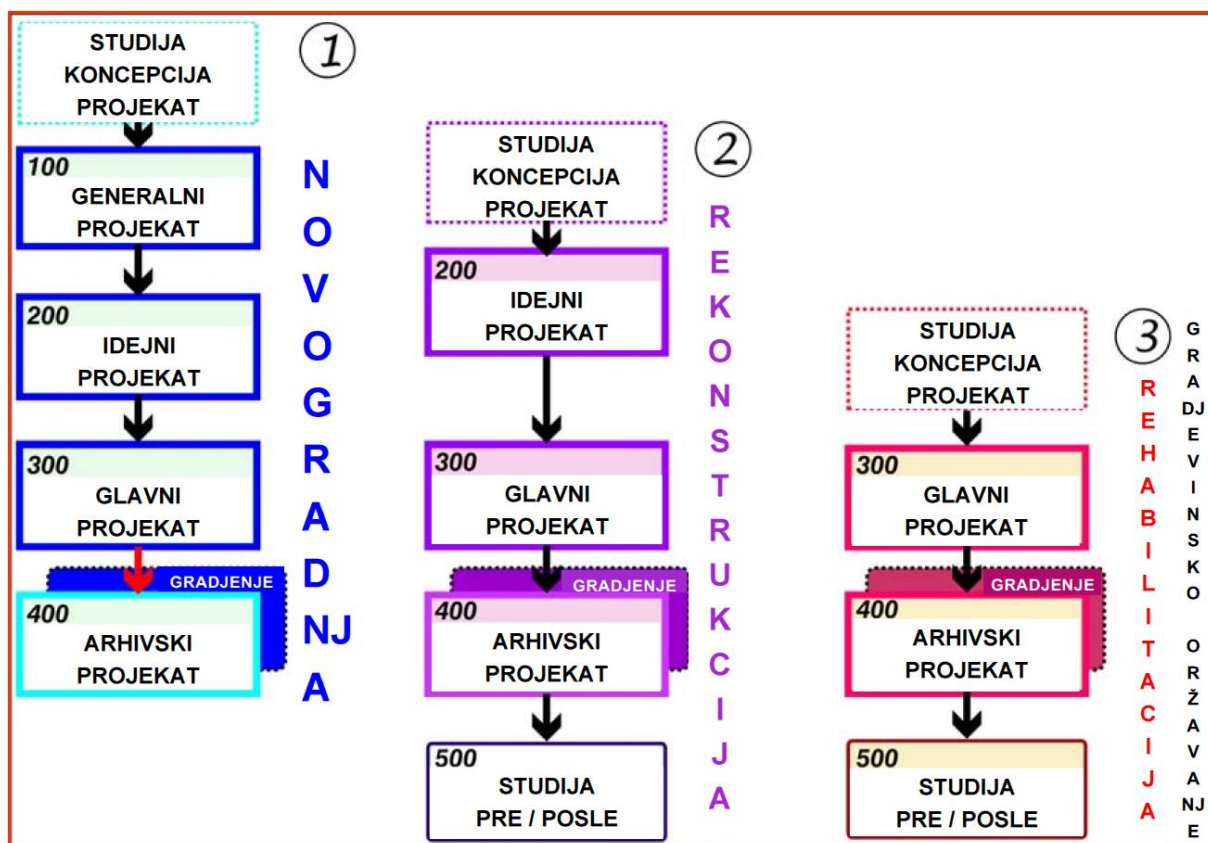
Proces planiranja i projektovanja infrastrukturnih linijskih objekata sastoji se od sukcesivnog istraživanja i izbora optimalnog koridora (generalni projekat), te optimalnog položaja trase pravca njegovog prostiranja (idejni projekat). U praksi se primenjuje postupak izrade varijanti rešenja, vrednovanje varijanti i donošenje odluke o najpovoljnijem rešenju, koji je, u osnovi, sličan postupku višekriterijumske optimizacije (VKO) za diskretne sisteme, [55]. Na Slici 3.1 dat je šematski prikaz odabira zemljišnog pojasa prostiranja linijskog infrastrukturnog objekta u zavisnosti od faze projektovanja.



**Slika 3.1:** Izbor lokacije linijskih objekata u zavisnosti od faze projektovanja



Pri planiranju i projektovanju infrastrukturnih linijskih objekata izrada varijanti rešenja zahteva kreativnost projektanta. Naime, pred projektanta se postavlja naizgled jednostavan zadatak spajanja dve čvorne tačke trasom objekta. Medjutim, problem je vrlo složen jer na jednoj strani treba zadovoljiti kriterijume investitora, a na drugoj funkcionalnost i tehničku upotrebljivost objekta. Zbog toga se u okviru Generalnog projekta rade varijante rešenja koridora i na temelju vrednosti njihovih parametara po određenim kriterijumima pravi izbor optimalne trase objekta. Kao što je na Slici 3.2 prikazano, Generalni projekat se radi u slučajevima novogradnje, dok kod rekonstrukcije ili rehabilitacije i održavanja objekata to nije slučaj.



Slika 3.2: Koraci u projektovanju linijskih infrastrukturnih objekata u zavisnosti od vrste zahvata i nivoa investicija

### 3.1 Značaj procesa planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata

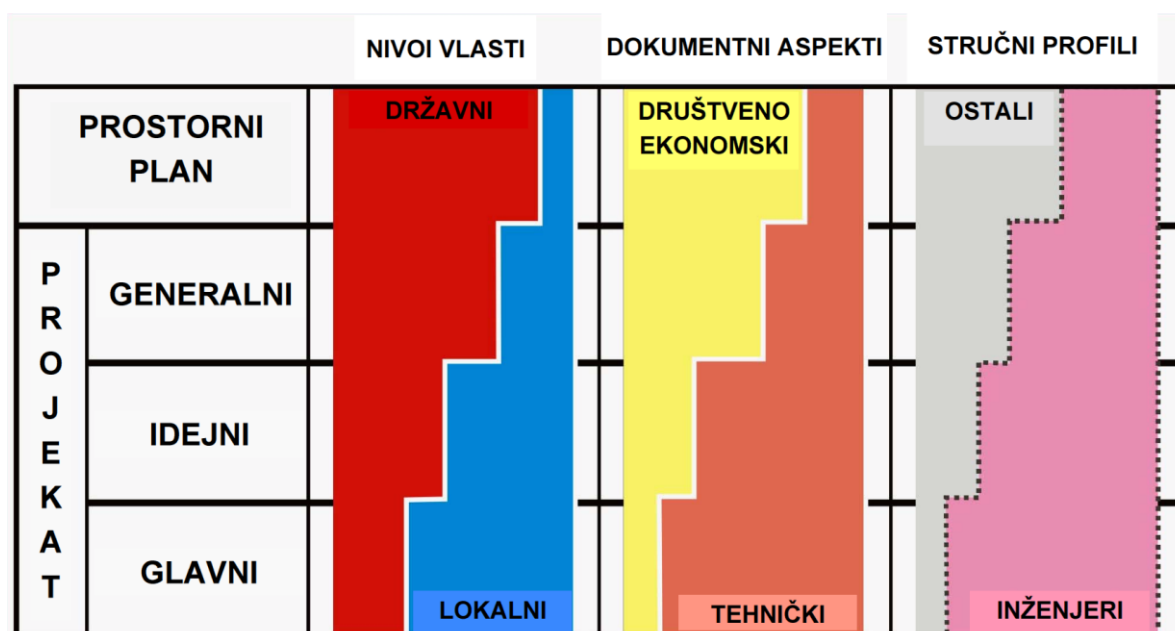
I ako je zakonskom regulativom Republike Srbije kojom se definišu pitanja pravnog položaja, finansiranja, upravljanja, zaštite, održavanja, korišćenja, razvoja, izgradnje i rekonstrukcije infrastrukturnih objekata definisana i izrada krucijalnih strategijskih i koncepcijskih dokumenata na nivou države, kao što su Generalni plan javne infrastrukture, Generalni plan saobraćajne infrastrukture i konačno, Generalni plan putne mreže kao i drugi Generalni planovi ostalih infrastrukturnih sistema, oni ni do danas ne postoje na nivou Republike Srbije.

Ovi dokumenti se rade na osnovu dugoročnih planova i politike razvoja države uz uvažavanje realnih mogućnosti i ograničenja (finansijskih, prirodnih, političkih, ekoloških i sl.). U njima se definišu pitanja vezana za: razvoj, prioritete izgradnje ili rekonstrukcije, obim i izvore finansijskih sredstava, generalne programske parametre za planiranje, projektovanje, održavanje i eksploataciju, strategiju sigurnosti infrastrukturnog sistema, ekološke zahteve,

generalne vremenske preseke realizacije pojedinih delova sistema. Ova dokumenta predstavljaju dugoročni strategijski instrument za vođenje politike razvoja i unapređenja samih infrastrukturnih sistema. Pored Generalnih planova infrastrukturnih sistema, rade se i srednjoročni i kratkoročni (operativni) planovi razvoja infrastrukturnih mreža za koje su svi relevantni granični uslovi definisani u Generalnim planovima.

Proces planiranja i projektovanja infrastrukturnih sistema predstavlja hijerarhijski uređen niz postupaka odlučivanja koji započinje na nivou Generalnog plana mreže definisanjem programskih uslova i Projektnog zadatka za izradu Generalnog projekta, a završava rekultivacijom prostora na kojem se nalazio objekat i koji je napušten pošto je iscrpljen životni vek objekta. Životni vek infrastrukturnih objekata meri se decenijama, često i stolicima, a najznačajniji potezi putne mreže na evropskom kontinentu mere svoj životni vek milenijumskim trajanjem.

Na Slici 3.3 dati su uticaji različitih faktora na različitim niovima odlučivanja, sa aspekta nivoa vlasti koji učestvuje u procesu, dokumentnog aspekta i aspekta stručnih profila koji se pojavljuju kao donosioci odluka.

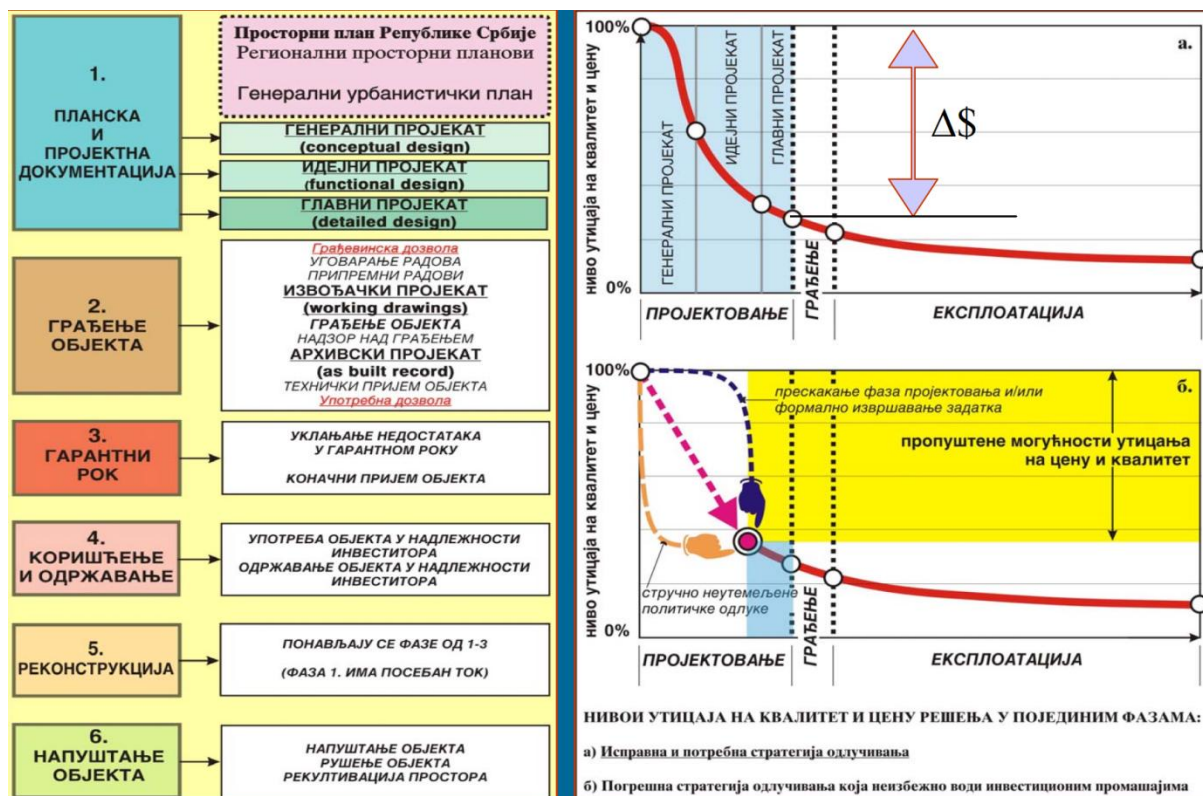


**Slika 3.3:** Različiti nivoi odlučivanja u zavisnosti od faze projektovanja

Zahvaljujući unapređenju tehnologije planiranja i projektovanja danas je moguće, pre fizičke izgradnje samog objekta, objektivno proceniti najznačajnije uticaje: zagadjenje životne sredine, sigurnost, nivo usluge, propusnu moć, odnos sistema i okoline, estetiku trase, potrebna finansijska sredstva i sl., i time uticati na obezbeđivanje zahtevanog nivo kvaliteta uz najniži nivo troškova gradnje i eksploatacije. Tako postavljeni ciljevi nesumnjivo ukazuju da su faze planiranja i projektovanja ključna područja u kojima se presudno utiče na ispunjenje tih ciljeva.

Na Slici 3.4 se može zapaziti da su mogućnosti uticanja na kvalitet i cenu najveće u početnim fazama planiranja puteva (Generalni i Idejni projekat) te da se veoma značajno smanjuju onog trenutka kada se udje u period gradnje, odnosno, eksploatacije objekta. Ova nesporna istina ukazuje na značaj samog procesa planiranja i projektovanja te se njihova metodologija pojavljuje kao ključni element kojim se izrada relevantne planske i projektne dokumentacije tako uređuje da se mogućnosti maksimalno iskoriste. O propuštenim mogućnostima uticaja

na kvalitet i cenu, bilo zbog stručno neutemeljenih političkih odluka, bilo zbog formalne izrade planske i projektne dokumentacije ili pogrešno donesenih odluka na bazi nedovoljno ili loše prikupljenih informacija, svedoče mnogi potezi infrastrukturnih mreža u Republici Srbiji, [6].



Slika 3.4: Algoritam životnog veka infrastrukturnog objekta i nivoi uticaja na kvalitet i cenu

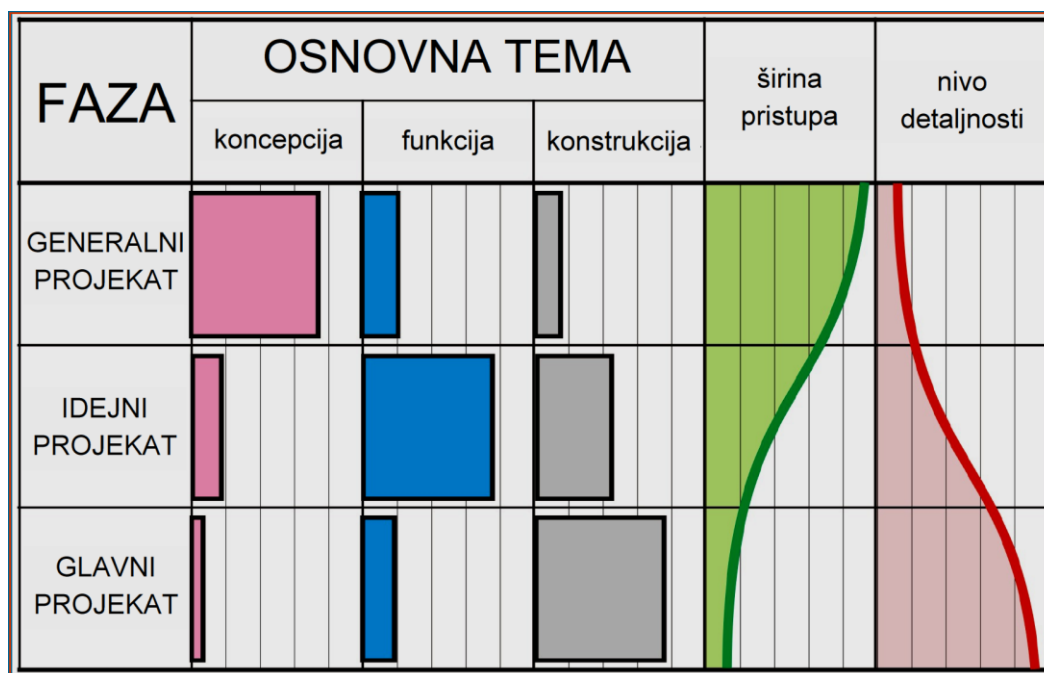
### 3.2 Metodologija projektovanja linijskih infrastrukturnih objekata

Metodologija planiranja i projektovanja linijskih infrastrukturnih objekata predstavlja hijerarhijski uredjen proces koji podrazumeva manje ili više formalizovane postupke kako bi se sa dovoljno izvesnosti i pouzdanosti donele potrebne odluke. Proces započinje konceptijskim pristupom utvrdjivanja optimalnog koridora (Generalni projekat), a zatim preko izbora optimalne trase objekta u odabranom koridoru (Idejni projekat) i utvrdjivanja optimalnih inženjerskih rešenja za izgradnju objekta (Glavni i Izvodjački projekat) završava se formiranjem relevantnih baza podataka, istorijskih i aktivnih, o izvedenom objektu (Arhivski projekat), [6]. Metodološki okvir projektovanja linijskog objekta dat je na Slici 3.5.

Izloženi metodološki pristup planiranju i/ili projektovanju infrastrukturnih objekata podrazumeva dosledno poštovanje sledećih činjenica i principa, [45]:

- Izostavljanje pojedinih faza projektovanja ili njihova formalna izrada donosi samo marginalne uštede; posledice su dugoročne i često dovode do kompromitovanja izvedenog objekta sa tehničkog i, što je mnogo značajnije, ali i teže uočljivo, sa društvenog, prostornog, ekološkog i ekonomskog stanovišta;
- Racionalno i dokumentovano odlučivanje u svim fazama projektovanja, zasnovano na vrednovanju kvantifikovanih pokazatelja varijanti rešenja, mora isključiti (ili svesti na najmanju moguću meru) intuitivno odlučivanje;

- Odlaganje nezaobilaznih i ključnih odluka za sledeću fazu projektovanja u suprotnosti je sa osnovnim zakonitostima procesa; naime, svaka faza projektovanja ima svoje zadatke uz sopstveni nivo detaljnosti i širinu razmatranja;
- Polazne postavke svake faze, odnosno, zaključci prethodne faze, kontrolišu se i kroz povratnu spregu; manje modifikacije polaznih pretpostavki su potrebne i neophodne, a ako pretpostavke budu demantovane te je neophodna njihova suštinska promena, sledi da prethodna faza nije dala odgovarajuće rezultate, te da se moraju proveriti osnove i način donošenja odluka u prethodnoj fazi.



**Slika 3.5:** Osnovni metodološki okvir projektnih faza linijskih objekata

Definicija Generalnog projekta puteva može se, analogno, primeniti i na sve druge infrastrukturne linijske objekte, s obzirom da je određivanje lokacije objekta u prostoru, odnosno, definisanje prostornog pojasa kojim će se prostirati trasa linijskog objekta, najvažniji zadatak Generalnog projekta.

Proces planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata je vremenom postajao sve složeniji, kako je rastao obim i složenost zadataka i kako su se povećavala finansijska sredstva potrebna za njihovu realizaciju. U drugoj polovini XX veka troškovi izgradnje vangradskih autoputeva su dostigli, u proseku, od 5 do 10 miliona evra po jednom kilometru, ali ima deonica koje su premašile i 50 miliona evra po jednom kilometru. Ovo je dovelo do zahteva da se postupci planiranja i projektovanja, kao i svi drugi postupci, jednoznačno definišu i uredi, odnosno, da se utvrdi optimalna metodologija i uspostave obavezujuće procedure svih aktivnosti od inicijative za izgradnju ili rekonstrukciju jednog putnog poteza do puštanja izvedenog puta u saobraćaj i njegovog funkcionalnog i građevinskog održavanja.

Zakon o planiranju i izgradnji, [93], propisuje da se proces planiranja i projektovanja infrastrukturnog linijskog objekta mora voditi po strogo definisanim procedurama zavisno od vrste i nivoa investicije - novogradnja, rekonstrukcija ili rehabilitacija. Kada je u pitanju novogradnja proces započinje, na osnovu Generalnog plana infrastrukturne mreže, definisanjem programskih uslova i projektnog zadatka za izradu Generalnog projekta i

obuhvata Generalni, Idejni, Glavni i po potrebi Izvodjački projekat, kao i Arhivski projekat koji se realizuje tokom gradjenja infrastrukturnog linijskog objekta (Slika 3.2).

### **3.3 Generalni projekat linijskih infrastrukturnih objekata**

Generalni projekat (u pojedinoj literaturi sreće se i naziv Idejno rešenje), (engleski, *Conceptual Design* ili *General Design*), je funkcionalno-tehnička provera planerskih razmatranja kao osnova regionalnog i državnog plana prostornog razvoja. Neposredni programski uslovi za formiranje projektnog zadatka za izradu Generalnog projekta definišu se na osnovu Generalnog plana putne mreže države. Trasa (koridor) u Generalnom projektu razmatra se sa gledišta prostornih mogućnosti i ograničenja, a svi pokazatelji dobijeni geometrijskim, vozno-dinamičkim, saobraćajnim, ekološkim i ekonomskim analizama uključuju se u proces vrednovanja sa ciljem da se izabere optimalni koridor. U ovoj fazi moraju se doneti i načelne odluke o etapnosti gradjenja, uslovima eksploatacije (slobodna ili komercijalna), lokaciji i koncepciji raskrsnica, sistemu kolovozne konstrukcije (fleksibilna ili kruta), računskoj brzini deonice i sl. Osnovna razmera Generalnog projekta za puteve van naselja je 1:25000 (10000), odnosno puteve u naselju 1:5000 (2500). Osnovni planski dokument koji korespondira Generalnom projektu jeste, za puteve van naselja, Prostorni plan puta kao deo širih planskih dokumenata u okviru Prostornog plana infrastrukturnog koridora, odnosno Generalni plan mreže infrastrukture za puteve u naselju. Prethodnom studijom opravdanosti utvrđuje se podobnost puta za realizaciju i efekti iste. Navedena metodologija identično se primenjuje i na projektovanje drugih linijskih infrastrukturnih objekata.

Generalni projekat je, takodje, funkcionalno-tehnička provera planerskih razmatranja kao osnova regionalnog i državnog plana prostornog razvoja.

#### **3.3.1 Sadržaj Generalnog projekta**

Zakon o planiranju i izgradnji, [93], predviđa da Generalni projekat sadrži naročito podatke o: makrolokaciji objekta; opštoj dispoziciji objekta; tehničko-tehnološkoj koncepciji objekta; načinu obezbedjenja infrastrukture; mogućim varijantama prostornih i tehničkih rešenja sa stanovišta uklapanja u prostor; prirodnim uslovima; proceni uticaja na životnu sredinu; inženjersko-geološkim i geotehničkim karakteristikama terena sa aspekta utvrđivanja generalne koncepcije i opravdanosti izgradnje objekta; istražnim radovima za izradu idejnog projekta; zaštiti prirodnih i nepokretnih kulturnih dobara; funkcionalnosti i racionalnosti rešenja.

Dakle, prema imperativu pomenutog zakona, Generalni projekat mora da odgovori na sledeća pitanja:

- koja je najbolje, odnosno, optimalna makrolokacija i kakva je opšta dispozicija objekta,
- koja je najadekvatnija tehničko-tehnološka koncepcija objekta,
- koje su moguće varijante prostornih i tehničkih rešenja sa stanovišta funkcionalnosti i racionalnosti,
- na koje će se načine vršiti obezbedjenje infrastrukture,
- da na osnovu uradjene procene definiše uticaje na životnu sredinu i

- koje su potrebe za eventualnom zaštitom prirodnih i kulturno-istorijskih vrednosti.

Odgovori koji se daju na postavljene zahteve oblikovani u standardnu formu projektno-tehničke dokumentacije (u zavisnosti da li su tekstualnog, numeričkog ili grafikčog karaktera), poredani logičnim redosledom, u stvari i čine sadržaj Generalnog projekta.

I predlog nacrta novog Zakona o uređenju prostora i izgradnji (Ministarstvo građevinarstva i urbanizma, 2013) koji će, kako je planirano, u potpunosti zameniti postojeći Zakon o planiranju i izgradnji, [93], u Članu 143 kaže: „Generalni projekat se izrađuje za potrebe provere varijantnih prostornih i tehničkih rešenja, a kao osnova za izradu urbanističkih i prostornih planova“. Dakle, iz navedenog prozilazi da je osnovna svrha izrade Generalnih projekata provera varijantnih rešenja objekta, kako prostornih tako i tehničkih. S toga se najveća pažnja prilikom izrade Generalnih projekata posvećuje upravo varijantnim rešenjima, njihovom vrednovanju i rangiranju, odnosno, odabiru najboljeg od njih. Samim tim, najvažniji deo celokupnog saržaja Generalnog projekta je upravo elaborat (studija) o vrednovanju i rangiranju varijantnih rešenja.

### **3.3.2 Koncept upravljanja izradom Generalnih projekata infrastrukturnih objekata**

Upravljanje procesom projektovanja infrastrukturnih objekata predstavlja veoma kompleksan zadatak kome je osnovni cilj uspešno realizovanje svih aktivnosti od nivoa Generalnog projekta do izbora najpovoljnijeg ponudjača za izgradnju objekta i ugovaranje radova.

Za izvršenje ovih zadataka u savremenoj praksi se, za razliku od intuitivnog pristupa, široko primenjuje analitički pristup upravljanju projektom "Design Management" za koji je razvijena i odredjena metodološka i tehnološka osnova. Sam proces upravljanja projektovanjem može se razmatrati sa dva stanovišta: stanovište investitora i stanovište projektanta. Iako je reč o drugačijim nivoima prava i obaveza, objektivna je činjenica da je potpuno definisan i efikasan sistem upravljanja izradom projektne dokumentacije u obostranom interesu. Pritom valja naglasiti da je preduslov za efikasnost realizacije svakog pojedinačnog projekta dosledna primena standardne metodologije projektovanja, kao i stručni i etički kvaliteti svih aktera ovog procesa.

Za uspešnu realizaciju investicionih projekata od vitalne je važnosti jednoznačno definisati standardne procedure i postupke od početnih programskih uslova i projektnog zadatka za izradu Generalnog projekta do skladištenja podataka o izvedenom objektu u integrisani informacioni sistem. Ključnu ulogu u ovom procesu ima formiranje tzv. "strukturnih dijagrama" u kojima se na nivou dvodimenzionalne ili višedimenzionalne matrične forme sagledavaju sve aktivnosti pojedine faze rada (na primer, Generalnog projekta) u vremenskom i funkcionalnom poretku.

Na taj način omogućava se: jasno sagledavanje procesa izrade projektne dokumentacije, jednoznačno razgraničenje prava i obaveza svih učesnika (prvenstveno investitora i projektanata) u procesu, definisanje neophodnog nivoa i smerova razmene informacija izmedju pojedinačnih aktivnosti i kompletnih procesa, aktivno upravljanje i kontinualna kontrola toka procesa, kako interna (projektni tim) tako i eksterna (investitor), optimizacija raspoloživih resursa (kadrovi, oprema, finansije) od strane projektnih organizacija saglasno ugovornim obavezama sa investitorom. Svaka faza projektovanja definiše se kroz tri

konzistentno usaglašena parametra: strukturni dijagram projekta, opis aktivnosti i sadržaj projekta. Detaljan prikaz strukturnih dijagrama, opisa aktivnosti i sadržaja projekata, kao i celokupne metodologije projektovanja puteva data je u [5] i [7].

Proces odredjivanja optimalnog prostornog rešenja linijskog infrastrukturnog objekta koji se odvija nakon sprovedenih istraživanja, može se sumirati kroz sledeće postupke:

- odredjivanje vrste i tipa, odnosno, ranga objekta,
- utvrđivanje alternativnih koridora,
- procena alternativnih rešenja te utvrđivanje pogodnih za moguću primenu,
- procena socio-ekonomskih uticaja i uticaja na životnu sredinu svih primenljivih rešenja i
- odredjivanje „optimalne“ varijante za koju će se nastaviti postupak izrade detaljne projektne dokumentacije.

Odredjivanje alternativnih koridora se bazira na potražnji usluga koji neki infrastrukturni sistem pruža, postojećoj mreži čiji će deo biti i konkretni objekat, topografskim uslovima, troškovima za eksproprijaciju i korišćenje zemljišta, troškovima gradjenja, uticaja na životnu sredinu, socio-ekonomskim uticajima na okoline te drugim društvenim koristima.

---

## VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA

Problemi iznalaženja optimalnog rešenja, odnosno, zadaci optimizacije, sreću se i rešavaju u svakodnevnom životu. Na njih se nailazi skoro svuda, u tehničkim i ekonomskim sistemima, u porodici, preduzeću, sportskom klubu itd, [89]. Proces donošenje odluke i izbor „najbolje“ alternative najčešće se bazira na više od jednog kriterijuma i niza ograničenja.

Kao jedan od primera mogu poslužiti sledeća tri scenarija: (i) potencijalni kupac automobila razmatra mogućnost izbora jednog od više različitih modela. Kriterijumi njegovog interesa mogu biti cena, komfor, pouzdanost i stil. Koji auto je najvredniji za uloženi novac? (ii) projektant sistema za grejanje želi proizvod koji minimizuje troškove grejanja i potrošnju goriva. Za kriterijume odlučivanja treba uzeti u obzir snagu toplotne pumpe, odnos pritiska u gasnim turbinama, odnos viška vazduha, ulaznu temperaturu, izlaznu temperaturu i slično. Koje vrednosti promenljivih bi dale najbolji rezultat čime bi se postigao željeni cilj? (iii) inženjer projektant želi trasirati saobraćajnicu koja će pri izgradnji zahtevati minimalne utroške svih neophodnih resursa, a istovremeno obezbediti maksimalnu sigurnost korisnicima puta, minimalne negativne uticaje na životnu sredinu, maksimalan životni vek objekta i maksimalan pozitivan uticaj na ekonomski prosperitet područja kroz koje se saobraćajnica prostire.

U svim tim zadacima, čovekovo implicitno nastojanje je da pronadje rešenje koje u najvećoj mogućoj meri zadovoljava njegove želje, odnosno, rešenje koje mu stvara najveću korist, a da se pri tom ne krše određena ograničenja koja postoje. Na žalost, takvi problemi (poznati kao višekriterijumska optimizacija) nemaju jedinstveno i globalno rešenje, odnosno, ne postoji alternativno rešenje koje je optimalno za svaki kriterijum istovremeno. Činjenica je da su neki od njih, u skoro svim problemima odlučivanja, delimično ili potpuno, međusobno suprotstavljeni. Pored toga, razmatrani kriterijumi mogu po svojoj prirodi biti veoma raznorodni i izraženi u različitim mernim jedinicama od novčanih jedinica, preko jedinica fizičkih veličina do verovatnoća ili subjektivnih procena datih po nekoj skali koja se formira za konkretni problem. Sve ovo ukazuje da konačno jedinstveno rešenje ne može da se odredi bez učešća donosioca odluke.

Donosioc odluke treba na kraju da usvoji neko rešenje. Rešenje koje prihvati donosioc odluke naziva se najbolje ili preferirano rešenje. Zadatak višekriterijumske optimizacije i jeste da pomogne dosiocu odluke da izabere rešenje koje smatra najboljim u datim uslovima. Zato se



napori ka rešavanju postavljenog višekriterijumskog problema često nazivaju višekriterijumska analiza.

#### **4.1 Odlučivanje**

Odlučivanje predstavlja intelektualnu aktivnost ljudi koja je, kao i proces mišljenja, ljudska karakteristika. Proces donošenja odluka, odnosno, potreba za njime, neprekidno je prisutan u svim područjima ljudskih aktivnosti nezavisno od toga da li je reč o pojedincu, grupi ljudi, firmi, državi itd. Stoga je sasvim opravdano naučno izučavanje odlučivanja, odnosno, razvoj teorije odlučivanja kao zasebne naučne discipline. Ipak, neposredno izučavanje ovog procesa počelo je tridesetih godina XX veka, kada je na osnovu pravila definisanih kroz matematička znanja i teoriju ekonomije postalo moguće formirati određena pravila na osnovu kojih je donosiocu odluke omogućeno da odabere najbolje rešenje.

Pod donošenjem odluke podrazumeva se izbor neke od alternativa kojima se rešava određeni problem. U problemu odlučivanja postoje ciljevi koji se žele postići odlukom, kriterijumi kojima se meri postizanje tih ciljeva, težine tih kriterijuma koje odražavaju njihovu važnost i alternativna rešenja problema. Podaci i informacije o elementima problema odlučivanja sažimaju se odgovarajućim postupcima u po jedan broj za svaku alternativu, te se na osnovu tih vrednosti određuje rang lista alternativa.

Pod ciljem se podrazumeva stanje sistema koje se želi postići odlukom. U nekim se slučajevima taj cilj može opisati preciznije, a ponekad se cilj ne kvantifikuje. Kriterijumi su atributi kojima se opisuju alternative i njihova svrha je da direktno ili indirektno daju informacije o tome u kojoj meri se pojedinom alternativom ostvaruje željeni cilj. U određenom problemu odlučivanja svi kriterijumi obično nisu jednako važni, a relativna važnost kriterijuma proizilazi iz preferencija donosioca odluke koja je povezana s njegovim sistemom vrednosti i ostalim psihološkim karakteristikama. Kod izbora kriterijuma i određivanja njihovih važnosti treba uzeti u obzir i druge specifičnosti donosioca odluke. Na primer, vozač automobila pri izboru rute puta rukovodiće se različitim kriterijumima u odnosu na njegovog saputnika koji neće voziti tokom putovanja. Ukoliko oni i koriste neke zajedničke kriterijume, vrlo je verovatno da obojica ne daju jednaku važnost istim kriterijumima.

##### **4.1.1 Osnovni pojmovi, definicije i koncepti**

Usled faktora nepredvidivosti koji je sastavni deo procesa, odlučivanje je dugo posmatrano kao društvena, a ne tehnička aktivnost. Iza svake kvalitetne i održive odluke danas, nalazi se složen proces odlučivanja koji podrazumeva kompleksan izbor između različitih alternativa koje su pod uticajem manjeg ili većeg broja faktora. Proces odlučivanja podrazumeva sinergiju delovanja ljudskog faktora, matematičkih metoda i računarskih alata.

Čovek odlučuje uvek kada se nadje u određenim problemskim situacijama različite složenosti, koje treba rešiti. Problem se rešava akcijom ili nizom akcija koje imaju svoj cilj. Kako je za svaki problem moguć veći broj rešenja, odlučivanje podrazumeva istraživanje većeg broja alternativa u okviru kojih se vrši izbor. U zavisnosti od činjenice da li odluku donosi pojedinac ili grupa ljudi, odlučivanje može biti individualno ili grupno.

Zajednička karakteristika svih radova iz područja teorije odlučivanja jeste da je za donošenje neke odluke, po pravilu, na raspolaganju više mogućih odluka koje se nazivaju alternative. Iako doslovan prevod te grčke reči glasi „druga od dve mogućnosti“, što znači da bi se ona mogla koristiti samo u slučajevima kada se bira između dve odluke, danas se taj izraz koristi u znatno širem kontekstu (odnosno, i u slučajevima u kojima se bira između barem dve odluke), pa je opšteprihvaćen u teoriji odlučivanja.

U nastavku je dat pregled osnovnih definicija teorije odlučivanja, [1].

**Definicija 4.1:** Odlučivanje je proces u kojem se vrši izbor između više mogućih alternativnih rešenja nekog problema. Skup svih raspoloživih alternativa (odnosno, radnji) često se naziva i strategija.

**Definicija 4.2:** Odluka je rezultat procesa odlučivanja. Ona se donosi radi ispunjenja određenih ciljeva postavljenih u posmatranom problemu.

**Definicija 4.3:** Donosioc odluke je svaki subjekat koji ima nadležnost odlučivanja, te snosi celokupnu odgovornost za donešenu odluku. Donosioc odluke može biti pojedinac (na primer, menadžer neke firme) ili grupa ljudi (na primer, skupština deoničara).

Za donošenje odluke nije važan ukupan broj alternativa. Odluka se može doneti čak i u slučajevima sa samo jednom alternativom, te u slučajevima kada se ne izvrši izbor između alternativa. Ipak, dok u jednostavnijim problemima za donošenje odluke treba napraviti relativno jednostavne analize u relativno kratkom vremenu, složeniji problemi zahtevaju prethodno provodjenje odgovarajućih priprema i aktivnosti. U takvim se slučajevima odluka donosi u procesu donošenja odluke ili procesu odlučivanja. Formalna definicija procesa donošenja odluke je sledeća:

**Definicija 4.4:** Proces odlučivanja je niz međusobno povezanih i uslovljenih radnji koje se sukcesivno odvijaju težeci konačnom cilju – donošenju određene odluke.

Prema tome, svrha odlučivanja je doći do neke određene odluke. Pritom se pod pojmom „svrha“, podrazumeva opravdanje postupka, a pod pojmom „cilj“, rezultat koji treba postići tim postupkom. Dobijeni rezultat može: u celosti ostvariti zadati cilj, delimično ostvariti zadati cilj ili ne ostvariti zadati cilj.

Budući da se neka odluka donosi u sadašnjosti na osnovu stanja stvorenog u prošlosti, sledi da ona nije nezavisna od ranije donešenih odluka. Nadalje, budući da će se njezine posledice tek ostvariti u budućnosti, ona nije nezavisna ni od odluka koje će se tek doneti.

U realnim problemima vrlo često se postavljaju zahtevi za ostvarivanjem više ciljeva, pri čemu na ostvarenje svakog od njih pojedinačno utiče veliki broj faktora. Zato se odlučivanje vrši analizom trenutno najznačajnijih faktora i nastojanjem za istovremenim ostvarenjem što više ciljeva. Pri tom se razlikuju sledeće vrste odlučivanja:

- naučno ili racionalno odlučivanje, kojim se odluka donosi na bazi kvantitativnih analiza svih dostupnih podataka primenom odgovarajućih naučnih metoda i
- intuitivno odlučivanje, zasnovano na iskustvima stečenim u sličnim situacijama iz prakse.

#### 4.1.2 Problem odlučivanja i analiza problema odlučivanja

Proces odlučivanja je veoma složen i često sadrži veliki broj međusobno povezanih i uzajamno zavisnih faktora čije uticaje nije jednostavno precizno prepoznati i povezati u jedinstvenu odluku, [79]. Analiza problema odlučivanja predstavlja relativno novu oblasti u teoriji odlučivanja koja omogućava sistematsko i formalno pristupanje problemu odlučivanja. Bez obzira na to da li je donosioc odluke pojedinac ili grupa ljudi, teorija odlučivanja ima funkciju da pomogne donosiocu/donosiocima odluka da sam proces donošenja odluke bude što uspešniji.

Osnova teorije odlučivanja je sistemska analiza koja u svojoj metodologiji koristi sistemski pristup kao naučnu metodu. Proces odlučivanja sastoji se iz sledećih faza:

- definisanje problema i odredjenih ključnih parametara,
- utvrdjivanje kriterijuma odlučivanja - faza kreiranja modela,
- formulisanje funkcionalnih veza izmedju utvrdjenih kriterijuma,
- generisanje alternativa – faza rešavanja modela i
- izbor akcije u skladu sa postavljenim kriterijumima – faza primene rešenja.

U prvoj i najdelikatnijoj fazi procesa odlučivanja cilj je da se problem što konkretnije definiše. Proces definisanja problema trebalo bi da se sastoji iz dva međusobno funkcionalno povezana procesa. U zavisnosti od pravilne identifikacije problema zavisi i dalje rešavanje.

U fazi utvrdivanja kriterijuma odlučivanja neophodno je kreirati odgovarajući model odlučivanja jer se kroz odgovarajući model može jasno razumeti postavljeni problem sa svim logičkim vezama i specifičnim karakteristikama.

U trećoj fazi definišu se veze izmedju kriterijuma dok se, u najčešće poslednjoj, četvrtoj fazi odlučivanja, rešenja dobijena u trećoj fazi prevode u skup operativnih procedura koje je moguće primeniti.

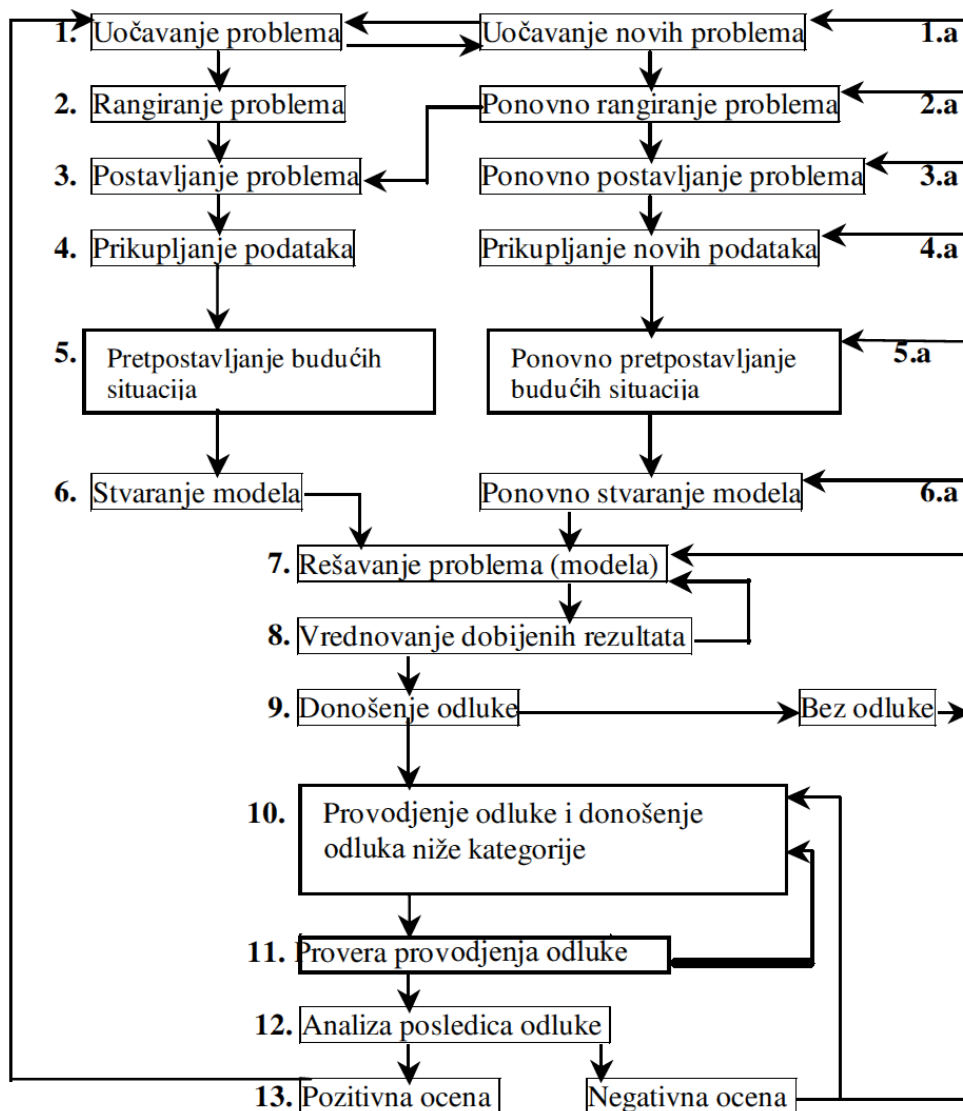
S druge strane, autori mnogih naučnih radova, imajući u vidu činjenicu da je proces odlučivanja veoma složen, nastoje taj proces podeliti na što više delova (faza). U tim se podelama vrlo često zanemaruje analiza odluke, te moguća revizija odluke. Znajući da se u realnim problemima često javljaju situacije da već donešena odluka ne mora opstati u svom prvobitnom obliku nego se može i dopunjavati, u celosti izmeniti ili zameniti odlukom o nekom drugom problemu, jedna od prihvatljivijih podela procesa odlučivanja data je šematski na Slici 4.1, [13]. Detaljan opis svake od navedenih faza se ne navodi jer se faze smatraju intuitivno shvatljivim. Treba napomenuti da su u većini radova faze 10. i 13. izostavljene.

U procesu odlučivanja, imajući u vidu postojanje odredjenog stepena intuitivnost donosioca odluka, značajan je, pre svega, stepen svesti donosioca odluke o ličnoj odgovornosti i neophodnosti moralnog postupanja i shvatanja posledica primene konačne odluke.

Odluke se mogu diferencirati na osnovu nekoliko kriterijuma:

- ocene dovoljnosti raspoloživih informacija za donošenje odluka,
- uslova u kojima se odluka donosi i
- broja osoba koje učestvuju u procesu donošenja odluke.

Odluke se, prema kriterijumu dovoljnosti raspoloživih informacija, dele na istraživačke (nastaju kada donosioc odluke dodje do zaključka da nema dovoljno podataka za odlučivanje i da je neophodno prikupiti dodatne podatke) i terminalne (odluke koje završavaju proces odlučivanja izborom jedne od ponudjenih alternativa).



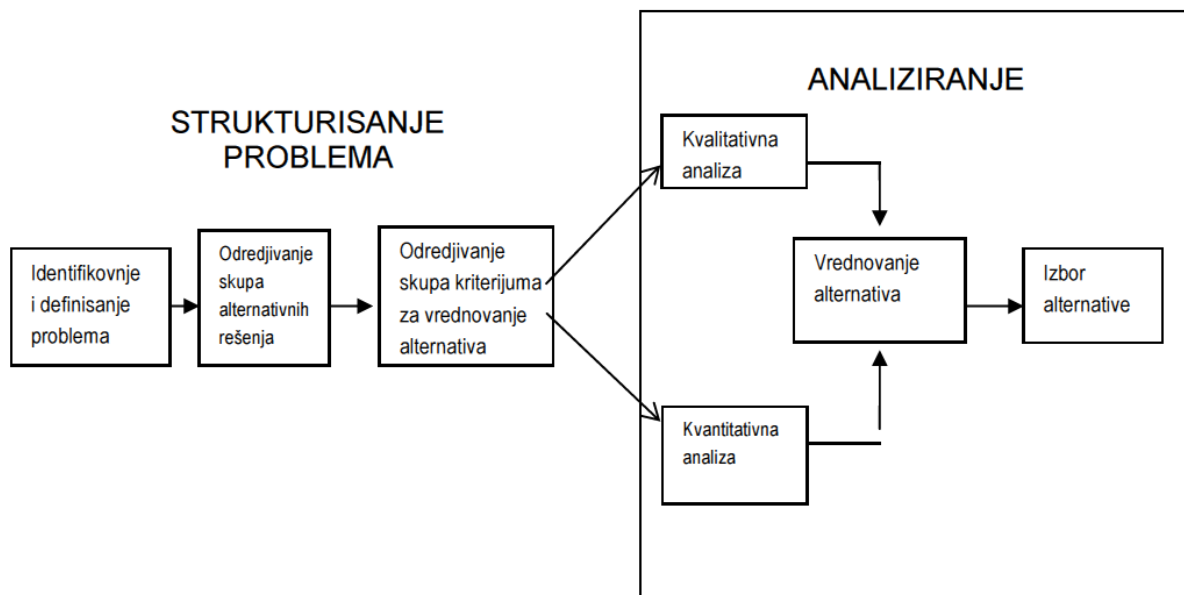
**Slika 4.1:** Rasčlanjena struktura faza procesa odlučivanja

Donosioci odluka često su izloženi određenim uslovima u kojima je neophodno doneti odluku: izvesnost, neizvesnost, rizik, konflikt ili kombinacija neizvesnosti i rizika. U uslovima neizvesnosti odluka se donosi u slučajevima kada je moguće odrediti buduće događaje, ali ne i njihovu verovatnoću. U slučaju rizika, donosioc odluke raspolaže samo delimično informacijama o mogućim događajima koji mogu uticati na ishod odluke. Kombinacija uslova neizvesnosti i rizika spada u domen statičkog zaključivanja, dok konfliktna situacija nastaje u slučaju kada posledica izabrane akcije donosioca odluke zavisi od reakcije aktera sa druge strane.

Prema kriterijumu broja donosioca odluka, razlikuju se individualne i grupne odluke. Kod individualnih odluka često nastaju greške usled rutinskog rešavanja problema, nepravilne primene heuristike ili različitih procesa razmišljanja pojedinca pod dejstvom različitih psiholoških faktora. Na nivou grupe donose se odluke koje zavise od pojedinaca koji sačinjavaju grupu u kojoj se često javlja dominacija osoba koje imaju sposobnost da se nametnu kao autoritet ostalim članovima grupe. Stoga je, u grupnom odlučivanju, česta

pojava nemogućnosti pravilne formulacije problema i donošenja kvalitetnih odluka, te je neophodno koristiti određene tehnike poput Delfi, Brainstorming, Tehnike nominalne grupe itd.

Na Slici 4.2 šematski je prikazana struktura procesa odlučivanja podeljena na dve osnovne faze: strukturisanje problema i analiziranje.



**Slika 4.2:** Osnovne faze procesa odlučivanja

#### 4.1.3 Matematički modeli kao pomoć odlučivanju

Činjenica je da se naučno odlučivanje zasniva na rastavljanju pojedine odluke na delove (odnosno, na odluke niže kategorije), te na donošenju odluke na osnovu obrazloženih činjenica. Vrlo značajnu ulogu u ključnim fazama procesa odlučivanja imaju matematički modeli i metode optimizacije.

Matematički model realnog sistema obuhvata skup matematičkih relacija (analitičke formule, (ne)jednačine, logičke operatore itd.) koje opisuju funkcionisanje određenog sistema, odnosno, karakteristike stanja sistema u zavisnosti od parametara sistema, početnih uslova i vremena. Formalno govoreći, matematički model je uređena trojka  $(M, U, f)$  gdje je  $M$  matematički model u užem smislu (koji najčešće čine relacije između pojedinih veličina sistema),  $U$  skup uslova (ograničenja), te  $f$  kriterijumska funkcija (ili funkcija cilja). Matematički model ima sledeće karakteristike, [55]:

- predstavlja samo jednu od mogućih aproksimacija realnog sistema. Model koji bi u potpunosti obuhvatao sve elemente složenog sistema praktično je neupotrebljiv za optimizaciju;
- namena modela jeste isključivo da pomogne naučniku. Ni u kom slučaju model ne sme i ne može zameniti naučnika niti mu oduzeti odgovornost prilikom donošenja odluke;
- ne daje nove podatke o sistemu, već omogućava bolje shvatanje sistem i njegovo ponašanja na osnovu postojećih podataka.

Stvaranja matematičkog modela odvija se kroz sledeće faze:

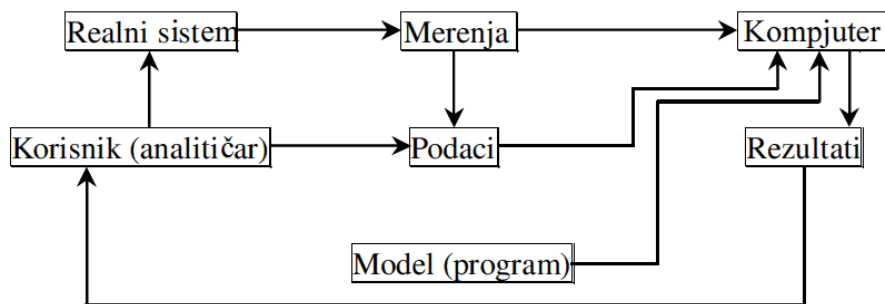
- definisanje ciljeva,

- planiranje istraživanja,
- formulisanje problema,
- stvaranje matematičkog modela,
- izbor metode rešavanja,
- programiranje i ispitivanje,
- prikupljanje podataka,
- vrednovanje dobijenih rezultata i
- implementacija dobijenih rezultata.

Navedene faze pokrivaju ukupno sedam faza procesa donošenja odluke navedenih u Tački 4.1.2 (Slika 4.1), počevši od faze rangiranja problema (faza 2) pa do faze vrednovanja dobijenih rezultata (faza 8). Kako se na osnovu tih faza u sledećoj fazi (faza 9) donosi odluka, to su navedene faze zapravo i najvažnije faze procesa donošenja odluke.

Medjutim, uspeh rezultata odluke ne zavisi samo od njih, već i od procesa sprovođenja same odluke, a naročito od analiza za donošenje nove odluke o istom ili drugom problemu uslovljenim promenama jednog ili više parametara važnih za funkcionisanje sistema.

Za matematički model usko su vezane i metode optimizacije. Generalno, svrha optimizacije je izabrati najbolje rešenje iz skupa svih mogućih alternativa u zavisnosti od postavljenih ciljeva. Formalno se optimizacija svodi na određivanje ekstrema (minimuma ili maksimuma) kriterijumske funkcije primenom različitih metoda čiji izbor zavisi od vrste relacija koje se pojavljuju u matematičkom modelu u užemu smislu, kriterijumske funkcije i postavljenih uslova. U načelu, ovaj se proces odvija upotrebom različitih računarskih programa (Slika 4.3).



**Slika 4.3:** Medjusobni odnosi činilaca sistema

U postupku optimizacije obično se primenjuju sledeći principi:

- u početku se koriste jednostavniji modeli, a tek nakon detaljnog izučavanja problema, uključuju se svi parametri,
- model se razvija tako da se pomoću njega može rešavati jedna klasa medjusobno sličnih problema. Uopšteni modeli nisu praktični zbog velikog broja zahteva vezanih za parametre,
- pre razvijanja modela utvrđuje se da li je model tehnički uopšte moguć, ekonomski opravdan, te hoće li biti (organizaciono) prihvaćen i upotrebljen,
- ukoliko uspeh modela zavisi od njegove praktične primene, u njegovom razvoju učestvuju i potencijalni korisnici koji se ujedno i osposobljavaju za uspešnu upotrebu modela,
- prikupljanje podataka odvija se uporedo sa razvojem modela,

- izradjuje se detaljna dokumentacija o modelu radi njegove što bolje primene u praksi i
- u koliko se model ne upotrebljava samo jednokratno, on se usavršava na bazi rezultata primene i eventualnih novih uslova ili parametara koji se mogu pojaviti u sistemu.

#### 4.1.4 Skup uslova i kriterijumska funkcija (funkcija cilja)

Svaki sistem nezavisno od sopstvenog ustrojstva ostvaruje svoje ciljeve pod različitim uslovima. Oni su najčešće posledica karakteristika samog sistema, ograničenosti kapaciteta i slično. Za svaki postavljeni cilj posebno se određuju skup uslova  $U$  i kriterijumska funkcija  $f$ .

Skup uslova  $U$  obično se određuje sistemom od  $m \in \mathbf{N}$  jednačina i (ili) nejednačina u kojima se javljaju iste nepoznate  $x_1, x_2, \dots, x_n$  koje čine  $n$  – dimenzionalni vektor  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbf{R}^n$ . Geometrijski skup  $U$  je hiperpovršinski i (ili) hiperravanski skup  $n$  – dimenzionalnog prostora  $\mathbf{R}^n$ . Pomoću njega se određuje područje definicije  $\mathcal{D}$  iz kojeg se bira vektor  $x$  za koji kriterijumska funkcija  $f$  dobija ekstremnu vrednost. Zato se donošenje odluke uvek sprovodi na osnovu vektorâ za koje  $f$  dobija ekstremne vrednosti.

Spomenuti uslovi obično se dobijaju matematičkim modeliranjem ograničenja pojedinih kapaciteta (materijal, finansijska sredstva, mehanizacija itd.). Osim njih, postoje i prirodna ograničenja koja zahtevaju da sve komponente vektora  $x$  moraju biti nenegativne, odnosno, za svako  $i = 1, 2, \dots, n$  mora važiti  $x_i \geq 0$ . Te su nejednakosti direktna posledica interpretacije svake pojedine nepoznate.

U praksi se javljaju sledeći slučajevi skupa  $U$ , [17]:

- skup  $U$  je protivrečan; to znači da postoje barem dva uslova koja ne mogu biti istovremeno važeća niti za jedan  $x \in \mathcal{D}$ . Formalno, ako je  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m, u_m + 1, \dots, u_m + n\}$ , gdje su  $u_1, u_2, \dots, u_m$ , (ne)jednačine dobijene interpretacijom ograničenosti kapaciteta, a  $u_m + 1, \dots, u_m + n$  prirodna ograničenja, onda se pomoću familije Booleovskih funkcija  $B_{ij} : \mathcal{D} \subset \mathbf{R}^n \rightarrow \{0,1\}$ , definisane sa

$$B_{ij} x = \begin{cases} 1, \text{ ako } x \text{ zadovoljava } u_i \text{ i } u_j, \\ 0, \text{ ako } x \text{ nezadovoljava } u_i \text{ i } u_j; \end{cases} \quad (4.1)$$

gde je  $i, j = 1, 2, \dots, m + n$ , može zaključiti da je skup  $U$  protivrečan ako i samo ako je za svako  $x \in \mathcal{D}$  važeća nejednakost

$$\sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=1}^{m+n} B_{ij} x \geq m + n^2. \quad (4.2)$$

- skup  $U$  nije protivrečan, a područje  $\mathcal{D}$  određeno skupom  $U$  je neomedjeno. U tom se slučaju ekstremi kriterijumske funkcije na  $\mathcal{D}$  mogu odrediti samo uz uslov da je funkcija  $f$  omedjena na  $\mathcal{D}$ . Taj uslov je potreban, ali ne i dovoljan jer omedjena funkcija  $f$  generalno ne mora imati najmanju, odnosno, najveću vrednost (na primer, ukoliko je slika te funkcije otvoreni interval u  $\mathcal{D}$ ),

- skup  $U$  nije protivrečan, a područje  $D$  omeđeno skupom  $U$  nije omeđeno. Tada se ekstremne vrednosti ne mogu odrediti samo ako je restrikcija funkcije  $f$  na skupu  $D$  neomeđjena funkcija (u ostalim je slučajevima moguće određivanje ekstremnih vrednosti.)

Kriterijumska funkcija  $f$  obično se najpre zadaje deskriptivno (verbalnim opisom željenog cilja), pa se potom postupno prevodi na analitički oblik, odnosno, odgovarajući matematički model. Složenost takvog postupka u praksi zavisi od složenosti samog sistema. U matematičkom smislu funkcija  $f$  je realna funkcija od  $n \in \mathbf{N}$  realnih varijabli čije se ekstremne vrednosti žele odrediti. Minimalne vrednosti određuju se ukoliko se pomoću funkcije  $f$  izražavaju na primer: vreme transporta neke robe, troškovi, potrošnja goriva i slično. Za razliku od toga, maksimalne vrednosti se određuju ukoliko se pomoću funkcije  $f$  izražavaju, na primer: dobit, učinak itd. Radi boljeg shvatanja željenog cilja, ali i samog sistema u celini, zapisivanje kriterijumske funkcije u njenom analitičkomu obliku predstavlja gotovo nužan korak u rešavanju postavljenih problema.

## 4.2 Osnovni pojmovi višekriterijumske optimizacije

Višekriterijumska optimizacija predstavlja proces donošenja odluke u situacijama kada postoji veći broj kriterijuma. Višekriterijumska optimizacija je u suštini pristup i niz tehnika pomoću kojih se vrši sveobuhvatno rangiranje opcija (alternativa), od najpoželjnije prema najmanje preferiranoj. Alternative se mogu razlikovati prema tome u kojoj su meri one postigle određene ciljeve, ali ni jedna neće biti najbolja u ostvarivanju svih ciljeva. Osim toga, uvek postoji konflikt ili *trade-off* medju ciljevima. Na primer, alternativa koja je korisnija obično je i skuplja.

Višekriterijumsko odlučivanje je jedna od najpoznatijih grana u odlučivanju. Sve klasične optimizacione metode koriste samo jedan kriterijum pri odlučivanju, odnosno, rešavanju čime se drastično umanjuje i realnost problema koji se mogu rešavati, [23]. Sa druge strane, prisustvo većeg broja kriterijuma u modelima odlučivanja ima i negativne karakteristike. Modeli postaju značajno složeniji u matematičkom smislu, pa postoji opasnost da rešenje problema obuhvati samo neke od postavljenih kriterijuma. Zbog toga su realni problemi rešavani od značaja do značaja, a tek kasnije su se razvijene metode formalizovale i lansirale kao metode rešavanja za pojedine kategorije problema.

Spektar problema višekriterijumskog odlučivanja je širok, ali i pored toga svi ovi problemi imaju neke zajedničke elemente:

- veći broj kriterijuma (funkcija cilja, funkcija kriterijuma), odnosno, atributa za odlučivanje koje kreira donosioc odluke,
- konflikt medju kriterijumima, kao najčešći slučaj kod realnih problema,
- neuporedive jedinice mere za različite kriterijume,
- veći broj alternativa (rešenja) za izbor i
- proces izbora jednog konačnog rešenja koji može biti projektovanje najbolje akcije (alternative) ili izbor najbolje akcije iz skupa prethodno definisanih konačnih akcija.

Prema mnogim autorima, na osnovu poslednje (pete) karakteristike, višekriterijumsko odlučivanje je podeljeno na višeciljno odlučivanje (VCO) i višekriterijumsko (višeatributivno) odlučivanje (VKO) ili višekriterijumsku analizu (VKA). Medjutim, veoma često se termini



višeciljnog i višekriterijumskog odlučivanja koriste da predstave istu klasu modela, odnosno, vrlo često se koriste kao sinonimi za višekriterijumsko odlučivanje.

Iako su metode višekriterijumskog odlučivanja različite, mnoge od njih imaju neke zajedničke aspekte. U nastavku se navode i ukratko pojašnjavaju karakteristični pojmovi koji se pojavljuju kod ovih metoda:

- **alternative** - predstavljaju različite izbore akcija koje su na raspolaganju donosiocu odluke. Skup alternativa podrazumeva ograničen skup, u rangu od nekoliko do stotinu (nekoliko stotina). Pretpostavlja se da su alternative proverene, prioritizovane i možda rangirane;
- **višestruki atributi** - svaki problem višekriterijumskog odlučivanja je povezan sa višestrukim atributima. Atributi se drugačije nazivaju „ciljevi“ ili „kriterijumi odlučivanja“. Atributi predstavljaju različite dimenzije iz kojih se alternative mogu posmatrati. U slučaju u kome je broj kriterijuma velik, kriterijumi mogu biti poredjani u hijerarhijskom smislu. To znači, da je neki kriterijum važniji od drugih, odnosno, da je glavni kriterijum. Svaki glavni kriterijum može biti povezan sa nekoliko podkriterijuma. Analogno tome, svaki podkriterijum može biti povezan sa nekoliko nižih podkriterijuma itd. Iako neke od metoda višekriterijumskog odlučivanja mogu zahtevati hijerarhijsku strukturu medju kriterijumima odlučivanja, većina njih pretpostavlja samo jedan nivo kriterijuma (nema hijerarhije);
- **konflikt medju kriterijumima** - pošto različiti kriterijumi reprezentuju različite dimenzije alternativa, oni mogu biti u medjusobnom konfliktu. Na primer, troškovi mogu biti u konfliktu sa profitom;
- **neuporedive jedinice** - različiti kriterijumi mogu biti povezani sa različitim jedinicama mere. Na primer, kod izgradnje puta, troškovi se mere u novcu, a dužina puta u kilometrima. Zbog toga je probleme višekriterijumskog odlučivanja teško rešavati;
- **težine odluka** - većina od metoda višekriterijumskog odlučivanja zahteva da kriterijumima budu dodeljene težine prema njihovoj važnosti. Obično, ove težine su normalizovane tako da njihov zbir bude jednak jedinici (1);
- **matrica odlučivanja** - problem višekriterijumskog odlučivanja može biti predstavljen i u matricnoj formi. Matrica odlučivanja je  $(m \times n)$  matrica u kojoj element  $a_{ij}$  predstavlja osobine alternative  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) kada je ona ocenjena prema kriterijumu odlučivanja  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Takodje, pretpostavlja se da je donosioc odluke odredio težine relativnih osobina kriterijuma odlučivanja  $w_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Matrica odlučivanja data je u Tabeli 4.1.

**Tabela 4.1:** Matrica odlučivanja

Alternative	Kriterijumi				
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	....	$C_n$
	$(\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	....	$\omega_n)$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	....	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	....	$a_{2n}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	....	$a_{mn}$

#### 4.2.1 Skup alternativa

Odredjivanje skupa alternativa po pravilu je početni korak višekriterijumskog odlučivanja. Zbog relativno malog broja naučnih radova koji se njime bave, ovde se taj problem detaljnije razmatra.

Osnovna definicija je sledeća:

**Definicija 4.5:** Skup alternativa  $A$  je osnovni skup objekata, odluka, kandidata itd., koji se proučava tokom procesa odlučivanja. Obično se zadaje na jedan od sledećih načina:

- ispisivanjem svih elemenata skupa  $A$  (u slučajevima kada je  $A$  konačan skup sa dovoljno malo elemenata za takav ispis) ili
- zadavanjem jednog ili više svojstava koja zadovoljavaju svi elementi skupa  $A$  (u slučajevima kada je  $A$  ili beskonačan ili konačan, ali prevelik za ispisivanje).

U zavisnosti od složenosti problema višekriterijumskoga odlučivanja, često nije moguće unapred, odnosno apriori, zadati skup  $A$ . Može se dogoditi da se taj skup zadaje postupno tokom samog procesa odlučivanja, pa se zbog toga skupovi alternativa dele na:

- stabilne (unapred zadate i zatvorene za promene tokom procesa odlučivanja) i
- promenljive (s mogućnošću menjanja tokom procesa odlučivanja usled, na primer, medjurezultata dobijenih tim procesom).

Generalno, skup  $A$  ne mora nužno predstavljati lako razumljivo predočavanje realnoga procesa. U procesu odlučivanja moguće je koristiti čak i nekoliko različitih skupova alternativa, pri čemu priroda svakog od njih (stabilan ili promenljiv) zavisi od napravljenog izbora. Važno je istaći da ne postoji samo jedno „dobro“ zadavanje skupa  $A$ , jer neka zadavanja mogu voditi na jednostavnije preferencijske strukture, [16], ali istovremeno i na vrlo složene primene metoda odlučivanja. Druga zadavanja pak, mogu imati obeležja suprotna navedenim. Zato zadavanje skupa  $A$  ne zavisi samo od rešavanog problema i činilaca uključenih u proces odlučivanja, nego i od definisanja cilja, preferencijske strukture, utvrđivanja problema i izbora odgovarajuće metode višekriterijumskog odlučivanja.

#### 4.2.2 Pojam i vrste atributa

Alternative ili ishodi akcija prikazuje se pomoću nekoliko, ili pak čitavim nizom karakteristika. Neke od tih karakteristika mogu se precizno izraziti u različitim jedinicama mere, dok se druge izražavaju opisno.

Izabrane karakteristike po kojima se alternative međusobno razlikuju nazivaju se atributi ili kriterijumi, a pravac kretanja atributa, kao na primer, minimizacija cene ili maksimizacija profita, definišu se kao ciljevi koji se odlukom žele postići. Atributi se medju sobom razlikuju po mnogim svojstvima, a najznačajnija su:

- preciznost kojom se mogu meriti i
- smer korelacije izmedju vrednosti atributa i korisnosti koju oni pružaju.

Po stepenu merljivosti atributi se dele na:

- kvantitativne i
- kvalitativne attribute.

*Kvantitativni atributi* su karakteristike alternativa koje se mogu precizno meriti na tzv. kardinalnim skalama (intervalnoj skali i skali odnosa ili relacionoj skali). Kvantitativni atributi bi bili cena, dužina, kvadratura, obim proizvodnje, ostvareni profit itd. Atributi se izražavaju u različitim mernim jedinicama (novcu, m<sup>2</sup>, tonama, procentima, itd.), a nekada se jedan te isti atribut može meriti na više mernih skala.

*Kvalitativni atributi* su takve karakteristike čiji se modaliteti ne mogu izraziti numerički. Ovi atributi se mogu podeliti u dve grupe, i to:

- atributi čiju vrednost nije moguće precizno izmeriti, ali ih je moguće rangirati po intezitetu. U ovu grupu atributa spadaju: znanje i inteligencija kandidata, bezbednost na radu, pouzdanost dobavljača i sl. Na osnovu ovih karakteristika moguće je formirati rang listu alternativa po prioritetu i
- čisto kvalitativni atributi, na osnovu kojih se ne može vršiti nikakvo kvantitativno poredjenje alternativa. U ovu grupu atributa se mogu ubrojiti: vrsta radnog iskustva kandidata, dizajn proizvoda, lokacija stana, itd. Ako se ova vrsta atributa koristi za ocenjivanje alternativa, onda se njihovim modalitetima pridružuju opisi kojima se izražavaju ukusi i preferencije donosioca odluka. Na primer, dizajn proizvoda se može opisati različitim modalitetima kao što su: izuzetno loš, loš, osrednji, vrlo dobar, odličan.

Drugi kriterijum po kome se razlikuju atributi je smer korelacije izmedju njihovih vrednosti i korisnosti koju pružaju. Po smeru slaganja razlikuju se sledeće vrste atributa, [25]:

- prihodni,
- rashodni i
- nemonotoni atributi.

Ako sa porastom vrednosti atributa raste i korisnost, atribut se naziva *prihodnim*. U ovu grupu atributa spadaju: efikasnost, pouzdanost, profit, pa se pri izboru alternative rukovodi maksimizacijom njihove vrednosti.

Ako sa porastom vrednosti atributa korisnost opada, onda se atribut naziva *rashodnim*. To su na primer: udaljenost od posla, zagadjenost vazduha, utrošeno vreme po jedinici proizvoda, itd. U ovom slučaju, izborom alternative nastoji se minimizirati vrednost rashodnih atributa.

*Nemonotoni atributi* su oni koji u jednom segmentu svojih vrednosti imaju direktnu, a u drugom inverznu korelaciju sa korisnošću donosioca odluka. Na primer, optimalne vrednosti temperature i količine svetlosti u radnoj prostoriji nalaze se unutar intervala mogućih vrednosti atributa  $f_{min} < f_{opt} < f_{max}$ .

Drugi primer bi mogao biti dužina trase putnog pravca, jer optimalna dužina ne mora da znači obavezno i njenu maksimalnu vrednost.

#### **4.2.3 Izbor atributa i njihova formulacija**

Atributi predstavljaju karakteristike alternativa koje su relevantne u konkretnom izboru posmatranog problema odlučivanja. Za razliku od alternativa koje su unapred definisane, atributi se uvek samostalno biraju i formulišu. To znači da je njihov izbor subjektivan, jer skup atributa odražava individualni stav donosioca odluke, odnosno, otkriva specifične ciljeve koje on želi da postigne donešenom odlukom. Zbog toga će skupovi atributa biti različiti za svakog od donosioca odluke, a razlikovaće se po broju i sadržaju ili po značaju koji im se pripisuje.

Pored izbora atributa, posebna pažnja se mora posvetiti formulaciji atributa. Nekada se dešava da će atribut i cilj biti identični, kao na primer, „profit“ i „maksimizacija profita“ ili „cena“ i „minimizacija cene“, dok će u drugom slučaju biti različiti. Veoma je važno uočiti da umesto karakteristike koja se prirodno nameće, treba izabrati onaj pokazatelj koji će odraziti suštinu postavljenog cilja. Na primer, kada se posmatra atribut „udaljenost kuće od radnog mesta“, on može biti izražen objektivnim rastojanjem, izraženim kroz broj kilometara. Medjutim, suština cilja koji se želi postići je „minimizacija vremena putovanja do posla“ koji se mnogo preciznije može prikazati sa „prosečnim vremenom provedenim na putu“.

Prilikom izbora i formulisanja atributa javlja se i problem kvantifikovanja kvalitativnih karakteristika. Naime, radi preciznosti ocenjivanja i međusobnog poredjenja alternativa, kvalitativne karakteristike je potrebno izraziti kvantitativnim pokazateljima koji će prikazati suštinu odgovarajućeg cilja, kad god je to moguće. Na primer, „fleksibilnost radnog vremena“ može se prikazati „dužinom klizne skale dolazaka na posao“ ili „brojem sati koji se mogu odraditi van radnog vremena bez posebne dozvole“ i sl., [27]. Takodje, prilikom kupovine stana, „lokaciju“ je moguće izraziti cenom kvadrata u tom kraju.

Drugu grupu kvalitativnih atributa čine oni atributi koji se ne mogu kvantifikovati. Tada se koriste neke manje precizne skale, kao na primer, kvalitet hotelskih soba koji se izražava brojem zvezdica; težina skijaške staze obeležena je bojom: plavom, crvenom i crnom i sl. Ovakve skale moraju imati dovoljno nivoa da bi se jasno uočila razlika izmedju modaliteta posmatranog kvalitativnog atributa. Za pojedine attribute je dovoljna skala sa dva nivoa koji pokazuju da alternativa ima ili nema odgovarajuću karakteristiku (modaliteti atributa su da i ne). U većini slučajeva se koristi skala sa pet nivoa, pri čemu se brojevima od 1 do 5 pripisuju različiti nivoi atributa. Na primer, 1 - izuzetno loš, 2 - loš, 3 - osrednji, 4 - vrlo dobar, 5 - odličan. U pojedinim slučajevima je potrebno formulisati skalu sa više nivoa, na primer, od 1 do 100, da bi se što preciznije izrazile razlike izmedju brojnih alternativa po posmatranom kvalitativnom atributu.

#### 4.2.3.1 Derivacija atributa

Bilo da se odluka donosi grupno ili pojedinačno, efikasan način da se započeti proces identifikacije kriterijuma nastavi je dobijanje odgovora na pitanje: „Šta će razlikovati izbor dobre i loše alternative u problemima odlučivanja?“. Odgovor na ovo pitanje treba dati što je preciznije moguće.

Perspektive (gledišta) zainteresovanih aktera (učesnika) ovde igraju važnu ulogu. Zato je potrebno iste uključiti u pojedinim ili svim fazama procesa odlučivanja. Pogotovu je važno sagledati njihove perspektive prilikom realizacije projekata javne infrastrukture, kao javnog, zajedničkog dobra.

Postoji nekoliko načina da se sagledaju njihove perspektive. Jedan od najefikasnijih načina je direktan razgovor sa svim zainteresovanim stranama, gde se kroz intervjuje ili ankete sagledavaju njihove potrebe, zahtevi, brige i interesi. Analiza prikupljenih informacija pomoći će da se gledišta zainteresovanih strana na adekvatan način pretoče u kriterijume vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja.

Kod definisanja kriterijuma veliku pomoć pruža takozvana „ciljna analiza“, odnosno, analiza ciljeva koji se žele postići rešavanjem definisanog problema. Dakako, i kod ciljne analize potrebno je razlikovati nivoe na koje se model odnosi, pogotovo zbog činjenice da se na višem (strateškom) nivou deo ciljeva unosi (dolazi) iz okruženja. Postizanje zadanih ciljeva je osnovna pretpostavka svakog procesa donošenja odluka, te je često postupak utvrđivanja ciljeva mukotrpan zbog toga što donosioci odluka misle da su im ciljevi potpuno jasni ili su pod pritiskom donošenja unapred prepoznatljivih odluka. Generalno, postoji nedostatak strukturisanog pristupa koji bi omogućio efikasnu i brzu sistemsku analizu ciljeva, te je iskustvo i timski rad, pored metodologije, najbolji garant uspeha.

U praksi je čest konflikt ciljeva na strateškom nivou i obično se događa da su ciljevi koji dolaze iz okruženja u konfliktu s ciljevima koji se generišu unutar sistema. Ova kontradiktornost se prenosi na kriterijume, te su kriterijumi najčešće u konfliktnim pozicijama. Kontradiktornost kriterijuma uslovljena je „lošom strukturom“ problema, te se može zaključiti da je osnovna karakteristika „normalnih“ (svakodnevnih) problem kontradiktornost dominantnih kriterijuma (na primer, ako je neki proizvod kvalitetan, onda je najčešće i skup; ili ako je neki proizvod tehnološki sofisticiran, onda je njegovo održavanje komplikovano, itd). Upravo kontradiktornost kriterijuma opravdava korišćenje metoda višekriterijumske analize, jer se „klasičnim“ metodama, uključujući i intuitivno odlučivanje, ne može utvrditi optimalno rešenje problema.

Na takav se način identifikuje određeni broj kriterijuma koji postaju elementi preliminarnog skupa kriterijuma.

Drugi deo kriterijuma preliminarnog skupa identifikuje se na osnovu iskustava iz sličnih projekata, te na osnovu sprovedenih naučnih ili praktičnih istraživanja. U ovom delu najveća uloga pripada „kreatorima projekta“. Treći deo preliminarnog skupa kriterijuma potiče od fizičkih, funkcionalnih i drugih karakteristika sistema koji se tretira. Četvrti deo kriterijuma se formuliše kao odraz zahteva, potreba, očekivanja i interesa zainteresovanih strana (učesnika) na projektu.

I ako ne postoji jasno definisano pravilo o broju kriterijuma preliminarnog skupa, ipak treba težiti da on bude što manji. Taj broj u mnogome zavisi od preferencija analitičara, problema koji se rešava, ali i od toga koji se sistem podrške u odlučivanju koristi.

Finansijski značajna ili na neki drugi način važna odluka, pogotovu kod sistema sa složenim tehničkim karakteristikama, može imati i stotinu kriterijuma (na primer, donošenje odluke gde će se graditi nuklearna centrala). Medjutim, za donošenje kvalitetnih odluka optimalnim brojem kriterijuma smatra se raspon od 6-20.

Identifikacija odgovarajućeg skupa kriterijuma za određeni skup ciljeva je kreativan proces. U nekim slučajevima postoje ciljevi za koje ne postoje jasni kriterijumi za direktno merenje nivoa ostvarenja, pa se u tom slučaju za ostvarenje ciljeva koriste kriterijumi koji su prikladni za merenje, a indirektno odražavaju ostvarenje ciljeva. Prilikom određivanja kriterijuma - skupa kriterijuma za dati cilj, treba da su zadovoljene sledeće dve osobine:

- merljivost (kriterijum mora biti praktično razumljiv kako bi se odredila vrednost na određenoj mernoj skali za datu alternativu) i
- laka shvatljivost (vrednost kriterijuma mora dovoljno da označava stepen koji je cilj ispunio).

Skup kriterijuma koji označava ukupan problem višekriterijumske optimizacije trebalo bi da ima sledeće osobine:

- operacionalnost (koristi analizi problema),
- potpunost (svi aspekti problema prikazani su kriterijumima),
- nesuvišnost, medjusobna nezavisnost kriterijuma (ni jedan aspekt problema nije ocenjen pomoću kriterijuma više od jedan put),
- optimalnu veličinu skupa (prevelik broj ponderisanje analizu čini težom) i
- minimalnost (nema konačnog skupa kriterijuma koji predstavljaju isti problem ali sa manjim brojem elemenata).

#### **4.2.3.2 Grupisanje atributa**

Grupisanje atributa (kriterijuma) u niz skupova koji se odnose na posebne i prepoznatljive komponente ukupnog cilja može biti od pomoći kod odlučivanja. Pogotovu se to odnosi na probleme gde je broj kriterijuma veliki.

Glavni razlozi za grupisanje kriterijuma su: (a) da pomogne procesu provere da li je set kriterijuma adekvatno izabran u odnosu na problem koji se rešava, (b) kako bi se olakšao proces izračunavanja težine kriterijuma kod pojedinih metoda za podršku odlučivanju, kada se prvo određuje težina skupova povezanih kriterijuma, a potom određuje težina kriterijuma unutar skupa, i (c) zbog lakšeg načina sagledavanja na osnovu kojih kriterijuma pojedina alternativa najbolje ostvaruje funkcije zadatog cilja.

Iz navedenih razloga, grupisanje kriterijuma (ili „strukturisanja stabla vrednosti“) predstavlja važan deo VKA. Postoji nekoliko formalnih smernice za utvrđivanje da li je definisana struktura dobra ili loša. Najiskusniji analitičari odluka problem strukturisanja vide kao veštinu koja se stiče prvenstveno kroz praktično iskustvo.

Medjutim, za većinu velikih problema, ne postoji nesumnjiva i nedvosmisleno ispravna struktura ili grupisanje kriterijuma. Prihvatljiva struktura je jednostavno ona koja odražava

jasno, logično i zajedničko gledište o tome kako se većina kriterijuma koji mogu biti relevantni za VKA mogu grupisati u koherentne skupove, od kojih će svaki od skupova odslikavati jednu komponentu celokupnog problema.

#### 4.2.3.3 Transformacija kvalitativnih atributa

Prema profesoru Hasanu Haniću, postoje četiri vrste skala za prevodjenje kvalitativnih atributa u kvantitativne atribute. To su nominalne, ordinalne, intervalne i relacione skale.

*Nominalne skale* nemaju izvorište i ne mogu se koristiti za istraživanje razlika ili redosleda. Koriste se za identifikaciju predmeta i pojava i služe prvenstveno za kategorizaciju i grupisanje.

*Ordinalne skale* koriste svojstvo brojnog sistema tako da brojevi imaju redosled veličine, na primer, broj 2 veći od broja 1, broj 3 od broja 2 itd. Brojevi služe samo za rangiranje predmeta prema nekom atributu tako da veći broj označava samo viši rang atributa prema subjektivnoj oceni ispitivanog lica.

*Intervalne skale* imaju jaču moć merenja nego ordinalne skale jer pored svojih svojstava imaju osobinu da odstojanja brojnih veličina odgovaraju odstojanjima između predmeta, pojava u pogledu karakteristika koje se mere. Kod intervalnih skala izvorište brojevnih veličina je arbitrarno, nije unapred određeno.

*Racionalne skale (ratio scales)* predstavljaju najviši oblik u sistemu skala jer dopuštaju sve aritmetičke operacije. One imaju nultu tačku koja označava odsustvo karakteristike koja je predmet merenja. Ove skale koje se uobičajeno koriste u merenju u fizičkim naukama (na primer, težina, visina itd.), imaju arbitrarnu samo jedinicu mere (tona, kilogram itd.).

Hwang i Yoon, [33], razlikuju tri vrste skala:

- *redna (ordinalna) skala* – stavlja merene akcije u redosled (rangove), pri čemu se ne vodi računa o relativnim rastojanjima između rangova,
- *interval skala* – obezbedjuje jednake intervale između akcija i označava razlike ili rastojanja akcija od nekog unapred definisanog repera (originala) i
- *skala odnosa* – obezbedjuje jednake intervale između akcija i označava razlike ili rastojanja od nekog originala koji nije unapred definisan.

U praksi je zaživelo nekoliko načina transformacije atributa (interval skala, normalizacija atributa, dodeljivanje odgovarajućeg skupa težina atributa, itd.), a jedan od najprimenijvanijih načina je interval skala.

#### 4.2.3.4 Interval skale

Za pretvaranje kvalitativnih atributa u interval skale često se koriste tzv. bipolarne skale. To znači da se izabere skala od, na primer, 10 tačaka, pa se 0 dodeli najmanjem nivou, a 10 najvišem nivou koji se može fizički realizovati. Veoma je važno precizno odrediti sredinu intervala jer ona predstavlja granicu između poželjnog i nepoželjnog. Ovaj način transformacije atributa dao je izuzetno dobre rezultate u mnogim praktičnim situacijama realnog odlučivanja i ako na prvi pogled deluje proizvoljno.

#### 4.2.3.5 Normalizacija atributa

Sprovođenjem normalizacije vrši se „ujednačavanje“ vrednosti atributa. Normalizacija atributa može biti dvojaka:

- *vektorska normalizacija* - svaki vektor-vrsta odlučivanja se podeli sa svojom normom, pri čemu se normalizovana vrednost  $n_{ij}$ , normalizovane matrice odlučivanja  $N$ , kod kriterijuma tipa *max*, dobija iz sledećeg izraza:

$$n_{ij} = \frac{f_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m f_{ij}^2\right)^{1/2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (4.3)$$

a kod kriterijuma tipa *min* iz sledećeg izraza:

$$n_{ij} = 1 - \frac{f_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m f_{ij}^2\right)^{1/2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.4)$$

Prednost ovog načina transformacije je u činjenici da se svi kriterijumi mogu izraziti merama koje imaju svoju jedinicu.

- *linearna skala* - izlaz (rezultat) nekog kriterijuma se podeli njegovom maksimalnom vrednošću, pa se transformisani izlaz određuje na osnovu sledećeg izraza:

$$l_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_j^*} = \frac{f_{ij}}{\max_i f_{ij}}, \quad f_j^* = \left\{ f_i \mid \max_i f_{ij} \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.5)$$

Vrednosti  $l_{ij}$  se kreću u intervalu (0,1) i rezultat je povoljniji što je bliži jedinici.

Kod kriterijuma tipa *min* element linearizovane matrice odlučivanja određuju se na sledeći način:

$$l_{ij} = \frac{f_j^{\min}}{f_{ij}} = \frac{\min_i f_j}{f_{ij}}, \quad f_j^{\min} = \left\{ f_j \mid \min_i f_{ij} \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.6)$$

#### 4.2.3.6 Dodeljivanje odgovarajućeg skupa težina atributa

Dodeljivanje odgovarajućeg skupa težina je način transformacije koji se koristi u slučajevima kada problemi višeatributivnog odlučivanja zahtevaju informacije o relativnom značaju pojedinih atributa. Za  $n$  kriterijuma skup težina je sledeći:

$$t^r = t_1, t_2, \dots, t_n, \dots, t_1, \quad (4.7)$$

gde je:

$$\sum_{j=1}^n t_j = 1. \quad (4.8)$$

Postoji veći broj tehnika procenjivanja relativnog značaja pojedinih atributa od strane donosioca odluka. Neke od njih su: metoda sopstvenih vektora, metoda težinskih najmanjih kvadrata, metoda entropije, itd.



#### 4.2.4 Preferencijalna struktura

Davanje prednosti (preferencija) je jedan od vrlo bitnih elemenata života, kako pojedinca, tako i čovečanstva u celini. Modeliranje tog elementa predstavlja jedan od nužnih koraka ne samo u teoriji odlučivanja, nego i u ekonomiji, psihologiji, sociologiji, gradjevinarstvu, infrastrukturi itd., a polje njegovog istraživanja i dalje se proširuje. Ovde se opisuju osnovna načela i ideje protkani u većini radova iz ovoga područja.

Ukoliko u procesu donošenja odluke donosioc odluke mora uporediti dve alternative  $a$  i  $b$ , rezultat njegovog upoređivanja je jedan od sledećih:

- davanje prednosti jednoj od alternativa,
- nerazlikovanje alternativa (obe su jednako važne) ili
- odbijanje obe alternative ili nemogućnost njihovog upoređivanja.

Simbolima se to može zapisati na sledeći način:

$$aPb \text{ ako je data prednost alternativni } a, \quad (4.9)$$

$$bPa \text{ ako je data prednost alternativni } b, \quad (4.10)$$

$$aIb \text{ ako su alternative jednako važne,} \quad (4.11)$$

$$aJb \text{ za odbijanje ili neuporedivost alternativa.} \quad (4.12)$$

**Definicija 4.6:** Ako je  $A$  skup alternativa, onda se relacija preferencije  $P$  na skupu  $A$  definiše na sledeći način:

$$P = \{ a, b : a, b \in A, aPb \}. \quad (4.13)$$

Potpuno analogno se definišu i relacija nerazlikovanja ili indiferencije  $I$ , te relacija neuporedivosti ili nekomparabilnosti  $J$  (takodje na skupu  $A$ ).

Kako bi ove relacije u celosti opisivale realne situacije u kojima se javljaju preferencija, indiferencija i nekomparabilnost, pretpostavlja se da relacija  $P$  ima svojstvo asimetričnosti (to jeste, ako važi relacija  $aPb$ , onda ne važi relacija  $bPa$ ), relacija  $I$  svojstva refleksivnosti (to jeste, važi relacija  $aIa$ ) i simetričnosti (to jeste, važi relacija  $aIb \Rightarrow bIa$ ), a relacija  $J$  svojstva irefleksivnosti (to jeste, ne važi relacija:  $aJa$ ) i simetričnosti.

**Definicija 4.7:** Preferencijalna struktura na skupu alternativa  $A$  je uredjena trojka  $(P, I, J)$  relacijâ  $P, I$  i  $J$  sa prethodno navedenim svojstvima, pri čemu se još postavlja dodatni uslov da za svaka dva elementa  $a$  i  $b$  skupa  $A$  važi samo jedna od sledećih relacija:

$$aPb, bPa, aIb, aJb. \quad (4.14)$$

Preferencijalna struktura se u celosti može opisati zadavanjem relacije  $S$  na sledeći način: ako su zadane relacije  $P, I$  i  $J$ , onda se relacija  $S$  definiše na sledeći način:

$$aSb \text{ ako i samo ako } aPb \text{ ili } aIb \quad (4.15)$$

(odabere se ili jedna od alternativa ili su obe jednako važne). Relacija  $S$  naziva se *karakteristična relacija preferencijalne strukture*. Može se pokazati da važi sledeća relacija:

$$S = P \cup I. \quad (4.16)$$

U suprotnom, ako je zadata relacija  $S$ , onda se relacije  $P, I$  i  $J$  definišu se na sledeći način:

$$aPb \text{ ako i samo ako je } aSb \text{ i } bSa, \quad (4.17)$$

$$aIb \text{ ako i samo ako je } aSb \text{ i } bSa, \quad (4.18)$$

$$aJb \text{ ako i samo ako je } aSb \text{ i } bSa. \quad (4.19)$$

Preferencijalna struktura se grafički predstavlja na sledeći način:

$$\begin{array}{ll} a \bullet \xrightarrow{\text{-----}} \bullet b & a P b \\ a \bullet \text{-----} \bullet b & a I b \\ a \bullet & \bullet b & a J b \end{array}$$

U praksi se obično koristi takozvana *tradicionalna preferencijalna struktura* koja se sastoji od prevodjenja procesa odlučivanja na optimizaciju određene realne funkcije  $g : A \rightarrow R$  definisane na skupu alternativa  $A$ . Reč je o tome da se (u slučaju maksimizacije) definišu sledeće relacije:

$$aPb \text{ ako i samo ako je } g a \succ g b, \quad (4.20)$$

$$aIb \text{ ako i samo ako je } g a = g b, \quad (4.21)$$

ili njima ekvivalentna relacija:

$$aSb \text{ ako i samo ako je } g a \sqsupseteq g b, \quad (4.22)$$

i to za sve  $a, b \in A$ . U ovom je slučaju  $J = \emptyset$  (nema neuporedivih elemenata), relacije  $P$  i  $I$  su tranzitivne, a relacija  $S$  je potpuna i tranzitivna. To su dovoljni uslovi za osiguranje postojanja funkcije  $g$ , odnosno, za upotpunjenje tradicionalnog preferencijalnog modela, [15].

Treba napomenuti da su za praksu značajni sledeći preferencijalni modeli:

- modeli sa konstantnim pragom,
- modeli sa promenljivim pragom,
- modeli sa pragom indiferencije i pragom preferencije,
- modeli koji uključuju neuporedivost alternativa i
- drugi modeli zasnovani na različitim (potpuno uredjenim, poluuredjenim ili intervalno uredjenim) preferencijalnim strukturama.

Detalje o tome dao je P.C. Fishburn, [22].

Razvojem savremenih računara ostvaren je velik napredak na polju obrade podataka, a pogotovo u implementaciji statističkih tehnika (poput faktorske analize) koje omogućavaju geometrijsku reprezentaciju, odnosno, vizuelizaciju podataka, a prilagodjene su i slučajevima u kojim se iznose podaci o preferencijama. Skupljanje podataka o preferencijama i dalje je otvoren problem jer su istraživanja pokazala da, na primer, način postavljanja pitanja ispitaniku može bitno uticati na njegovo ponašanje, odnosno, odgovaranje. Do danas nije razvijena opšta metodologija skupljanja podataka o preferencijama, ali se očekuje da bi upotreba nekih interaktivnih programa (na primer, PREFCALC-a) mogla dati određene rezultate.

#### 4.2.5 Višeciljno odlučivanje

Višeciljno odlučivanje primenjuje se u tzv. dobro strukturisanim problemima u kojima se skup uslova  $U$  može na odgovarajući način matematički opisati (realnim funkcijama od  $n$

realnih varijabli), što generalno ne mora biti slučaj. Zbog toga se problemi višekriterijumskog odlučivanja dele na dobro strukturisane i loše strukturisane, a sâmo višekriterijumsko odlučivanje na višeciljno (upotrebljava se prilikom rešavanja dobro strukturisanih problema) i višeatributivno (koristi se prilikom rešavanja loše strukturisanih problema).

Treba napomenuti da se u višeciljnom odlučivanju umesto naziva kriterijumska funkcija koristi alternativni naziv funkcija cilja (otuda i naziv te vrste odlučivanja), dok se u višeatributivnom odlučivanju umesto naziva kriterijum koristi naziv atribut (otuda i naziv te vrste odlučivanja). U ovom radu se konzistentno koristi naziv kriterijumska funkcija nezavisno od toga da li se razmatraju dobro ili loše strukturisani problemi.

Matematički model odlučivanja sa više kriterijumskih funkcija najčešće se zadaje na sledeći način, [40]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{optimizovati } f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \\ \text{pod uslovima (skraćeno: p.u.)} \\ g_i(x) \leq 0, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, m; x \geq 0 \end{array} \right\}. \quad (4.23)$$

Analogno kao i u prethodnim tačkama, i ovde se pretpostavlja da je  $x$   $n$  – dimenzionalni realni vektor zapisan u obliku  $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbf{R}^n$ . Zato je uslov  $x \geq 0$  ekvivalentan uslovu

$$x_i \geq 0, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.24)$$

Za razliku od jednokriterijumskog odlučivanja, ovde se javlja ukupno  $k$  kriterijumskih funkcija, pri čemu se pretpostavlja da je  $k \in \mathbf{N}$ ,  $k > 2$ . Sve su te funkcije realne funkcije ukupno  $n$  realnih varijabli. Skup ulova  $U$  isti je kao i kod jednokriterijumskog odlučivanja: čini ga tačno  $m$  realnih funkcija ukupno  $n$  nenegativnih realnih varijabli.

Znajući da se svaki problem minimizacije neke funkcije može svesti na njemu ekvivalentan problem maksimizacije zamenom  $\min f(x) = -\max f(x)$ , početni matematički model višeciljnog odlučivanja, shodno tome, može se zapisati u sledećem obliku:

$$\left. \begin{array}{l} \max f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \\ \text{p.u.} \\ g_i(x) \leq 0, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, m; x \geq 0 \end{array} \right\}. \quad (4.25)$$

Najjednostavniji slučaj višeciljnoga odlučivanja jeste kada su sve kriterijumske funkcije i svi uslovi linearne funkcije. Takvo višeciljno odlučivanje naziva se linearno. Tada se gornji matematički model može zapisati u sledećem obliku:

$$\left. \begin{array}{l} \max \left\{ f_i(x) = \sum_{j=1}^n c_{ij}x_j, i = 1, 2, \dots, k \right\} \\ \text{p.u.} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, m \\ x_j \geq 0, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \quad (4.26)$$

pri čemu su svi koeficijenti  $a_{ij}$ ,  $b_j$  i  $c_{ij}$  realni brojevi. Slučaj u kojem kriterijumska funkcija ili uslovi nisu linearne funkcije ovde se ne razmatra, [51].

U višeciljnom odlučivanju koriste se pojmovi i definicije analogni onim iz prethodne tačke. Radi potpunosti, navode se njihove tačne definicije.

**Definicija 4.8:** Moguće ili dozvoljeno rešenje gornjeg problema višeciljnog odlučivanja je svaki  $n$  – dimenzionalni vektor  $x_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n})$  čije komponente zadovoljavaju uslove:

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_{0j} \leq b_i, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, m \\ x_{0j} \geq 0, \text{ za svako } i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\}. \quad (4.27)$$

Skup svih mogućih rešenja označava se sa  $X$ .

**Definicija 4.9:** Funkcija  $f: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^k$  definisana formulom  $f(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$  naziva se vektorska kriterijumska funkcija, a čine je ukupno sve početne kriterijumske funkcije.

**Definicija 4.10:** Kriterijumski skup  $S$  je skup  $S = \{f(x): x \in X\}$  (pritom je  $f$  vektorska kriterijumska funkcija).

Tako se početni problem maksimizacije funkcija  $f_1(x), \dots, f_k(x)$  svodi na problem određivanja maksimalnog, odnosno, najvećeg elementa skupa  $S$ .

**Definicija 4.11:** Neka su rešavanjem  $k$  jednokriterijumskih modela  $\max f_i(x), x \in X, (i = 1, 2, \dots, k)$  dobijena optimalna rešenja  $x^*_1, x^*_2, \dots, x^*_k$ . Tim su rešenjima pridružene odgovarajuće vrednosti  $f_i^*$  kriterijumskih funkcija

$$f_i^* = f_i(x_i^*), \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (4.28)$$

Te se vrednosti nazivaju *idealne vrednosti kriterijumskih funkcija*. Vektor čije su komponente idealne vrednosti kriterijumskih funkcija naziva se *idealna vrednost vektorske kriterijumske funkcije* (ili kraće, *idealno rešenje*) i označava sa  $f^*$ .

Ovakvo „prevodjenje“ višekriterijumskog modela na više jednokriterijumskih modela ima i svoje nedostatke. Naime, optimalno rešenje problema  $\max f_l(x), x \in X$ , (gde je  $l \in [k]$ ) generalno ne mora biti i optimalno rešenje problema  $\max f_p(x), x \in X$ , gde je  $p \in [k] \setminus \{l\}$ . Tačnije, važi nejednakost  $f_p(x_l^*) \leq f_p^*$ . Zbog toga ima smisla posmatrati posledice optimalnih rešenja koje je poželjno zapisati matricno:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdot & \cdot & f_{1k} \\ f_{21} & f_{22} & \cdot & \cdot & f_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{k1} & f_{k2} & \cdot & \cdot & f_{kk} \end{bmatrix} \in M_k \mathbf{R}, \quad (4.29)$$

pri čemu je  $f_{ij} = f_i(x_j^*)$ , za sve  $i, j \in [k]$ .

Broj  $f_{ij}$  naziva se posledica (optimalnog) rešenja  $x_j^*$  za kriterijumsku funkciju  $f_i$ .

Ukoliko neka od kriterijumskih funkcija  $f_i$  ima više optimalnih rešenja, onda se kao posledica za svaku od ostalih funkcija određuje ono rešenje za koje ta funkcija poprima najveću vrednost. Formalno, ako kriterijumska funkcija  $f_s$  ima optimalna rešenja  $x_1, x_2, \dots, x_t$ , onda se za bilo koju drugu funkciju cilja  $f_u, u \in [k] \setminus \{s\}$ , definiše

$$f_{us} = \max_{x_i} f_u, \quad i = 1, 2, \dots, t. \quad (4.30)$$

**Definicija 4.12:** Ukoliko postoji  $x^* \in \mathbf{R}^n$  takav da istovremeno maksimizuje sve kriterijumske funkcije, onda se takav  $x^*$  naziva savršeno rešenje i za njega važi:

$$f_i(x^*) = f_i^*. \quad (4.31)$$

Ukoliko je  $x^* \in X$  (to jeste, ukoliko je  $x^*$  i moguće i savršeno rešenje), može se ustvrditi da se zapravo ne radi o višekriterijumskoj optimizaciji. Generelno, modeli višekriterijumske optimizacije nemaju rešenje koje je i moguće i savršeno jer su barem dva optimalna rešenja medjusobno različita.

**Definicija 4.13:** Moguće rešenje  $x \in X$  naziva se *efikasno ili nedominirano rešenje* ako ne postoji  $x' \in X$  takav da važi:

$$f_i(x') \geq f_i(x), \quad \text{za svako } i \in k, \quad (4.32)$$

$$f_i(x') \neq f_i(x), \quad \text{za neko } i \in k. \quad (4.33)$$

Ekvivalentno tome, neko rešenje  $x$  je efikasno ako i samo ako ne postoji ni jedno rešenje  $x'$  koje je bar po jednoj funkciji cilja bolje od  $x$ , a istovremeno po ostalim nije lošije od  $x$ . Skup efikasnih rešenja označava se sa  $E$ . Rešenje  $x$  koje nije efikasno naziva se *neefikasno ili dominirano rešenje*. Takva rešenja po pravilu se uvek eliminišu.

**Definicija 4.14:** Moguće rešenje  $x \in X$  naziva se *kompromisno rešenje* ako je  $f_i(x)$  dovoljno „blizu“  $f_i^*$ , pri čemu se udaljenost računa po tzv. *Lebesque-ovoj* ili  $L_p$  – matrici, [52]:

$$\|f(x) - f^*\| = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^k |f_i(x) - f_i^*|^p}, \quad \text{za } 1 \leq p \leq +\infty. \quad (4.34)$$

Sva kompromisna i optimalna rešenja ujedno su i efikasna, pa se u matematičkom smislu za optimalno rešenje modela višekriterijumskog odlučivanja uzima skup  $E$ . Mada, prilikom primene na realne procese u procesu odlučivanja donosi se odluka o izboru samo jednog efikasnog rešenja. Ono se obično naziva preferisano ili najbolje rešenje, [55].

#### 4.2.6 Višeatributivno odlučivanje

Višeatributivno odlučivanje primenjuje se prilikom rešavanja loše strukturisanih problema, kada se skup uslova  $U$  ne može pogodno (odnosno, dovoljno dobro) matematički opisati (realnim funkcijama  $n$  realnih varijabli). Tada se kao skup uslova uzima skup  $A$  svih mogućih alternativa, pa se pripadajući matematički model može zapisati u sledećemu obliku:

$$\left. \begin{array}{l} \max f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \\ p.u. \\ x \in A := a_1, a_2, \dots, a_m \end{array} \right\} . \quad (4.35)$$

Ovde se kriterijumske funkcije  $f_1, f_2, \dots, f_k$  kraće nazivaju atributi (ili kriterijumi), a sâm proces odlučivanja višeatributivno odlučivanje.

**Definicija 4.15:** Ako za neku alternativu  $a_i \in A$  važi da je  $(a_i P a_j) \vee (a_i I a_j)$ , za svako  $j \in [m]$ , onda ta alternativa dominira nad svim ostalim alternativama (ili, ta je alternativa dominantna nad ostalim), što se kraće zapisuje kao  $a_i D a_j$ , za svako  $j \in [m] \setminus \{i\}$ .

Može se dokazati da je alternativa  $a_i$  dominantna ako za svako  $n \in [k]$  i svako  $j \in [m]$  važi nejednakost  $f_n(a_i) \geq f_n(a_j)$  [56].

Postojanje dominantne alternative ujedno povlači i postojanje savršenog rešenja (to je upravo ta alternativa), pa se u takvim slučajevima ne pojavljuje problem višekriterijumskog odlučivanja. Medjutim, problemi višekriterijumskog odlučivanja generalno nemaju dominantnu alternativu, a ako se ona eventualno i pojavi, može se zahtevati rangiranje svih ostalih alternativa koje se sprovodi daljom analizom.

Podela alternativa s obzirom na dominantnost data je u sledećim definicijama.

**Definicija 4.16:** Alternativa  $a_i \in A$  je *efikasna* ili *nedominanta* ako ne postoji alternativa  $a_j \in A$ ,  $a_j \neq a_i$ , takva da je  $a_i D a_j$ . Ekvivalentno,  $a_i$  je efikasna ako ne postoji alternativa  $a_j$  takva da važi nejednakost:

$$f_n(a_i) \geq f_n(a_j), \text{ za savko } n \in k, \quad (4.36)$$

$$f_p(a_j) > f_p(a_i), \text{ za neko } p \in k. \quad (4.37)$$

Ukoliko postoji više efikasnih alternativa, onda jedna od njih može poprimiti veću vrednost određenog atributa (u odnosu na ostale) ako i samo ako se smanji vrednost barem jednog od ostalih atributa. Zbog toga se kaže da su efikasne alternative neuporedive u smislu dominacije.

**Definicija 4.17:** Alternative  $a_i$  i  $a_j$  su ekvivalentne ako važi  $f_n(a_i) = f_n(a_j)$ , za svako  $n \in [k]$ .

**Definicija 4.18:** Alternativa  $a_i \in A$  je *neefikasna* ili *dominantna* ukoliko postoji barem jedna alternativa  $a_j \in A$ ,  $a_j \neq a_i$ , takva da je  $a_j D a_i$ .

Može se dogoditi da se u procesu odlučivanja pojavi problem izbora jedne od nekoliko (barem dve) efikasnih alternative. U takvim slučajevima najpre se redukuje pripadajući model, tako da se iz skupa  $A$  najpre izbace sve neefikasne alternative, a preostale podele na klase ekvivalentnih alternativa. Prema aksiomu izbora u teoriji skupova, iz svake je klase moguće odabrati samo jednog predstavnika, pa se od tih predstavnika formira novi skup alternativa.

Budući da je rešenje problema višeatributivnog odlučivanja skup svih efikasnih alternativa koji je (osim u slučaju redukovanja modela) jednak polaznom skupu alternativa  $A$ , mogu se razlikovati tri osnovna principa rešavanja tog problema, [81]. Na ovim se principima

zasnivaju i računarski programi namenjeni rešavanju modela višeatributivnog odlučivanja, [88]. Ti principi su sledeći:

- rangiranje (poredati alternative od najbolje do najlošije),
- izbor samo jedne alternative (izbor najbolje alternative) i
- izbor više alternativa (izbor unapred zadatog broja alternativa počevši od najbolje ili izbor alternativa koje zadovoljavaju neke dodatne uslove koji ne čine model višeatributivnog odlučivanja).

#### 4.3 Metode višekriterijumskog odlučivanja

##### 4.3.1 Podela metoda višekriterijumskog odlučivanja

Opšta podela metoda višekriterijumskog odlučivanja ne postoji, već se one obično dele prema određenim kriterijumima. Tako se u [96] mogu naći podele prema načinu uključivanja donosioca odluke u proces odlučivanja, prema klasama problema koji se rešavaju pomoću tih metoda, prema postupku rešavanja itd. Budući da se ovde želi staviti naglasak na sâm proces odlučivanja u kome je donosioc odluke jedan od značajnih činilaca, navodi se podela metoda višekriterijumskog odlučivanja prema načinu uključivanja donosioca odluke u proces odlučivanja.

Prema tom kriterijumu metode višekriterijumskog odlučivanja mogu se podeliti u sledeće grupe:

- interaktivne metode,
- stohastičke metode,
- metode za određivanje efikasnih rešenja,
- metode sa unapred zadatom preferencijalnom strukturom i
- metode kompromisnog programiranja.

Osnovna karakteristika *interaktivnih metodâ* jeste aktivno uključivanje donosioca odluke u celi postupak višekriterijumskog odlučivanja. Osnovni koraci su sledeći:

- odredi se neko efikasno rešenje,
- određeno efikasno rešenje predoči se donosiocu odluke i isčekuje se njegova reakcija,
- ako je donosioc odluke zadovoljan predloženim rešenjem, ono predstavlja odluku i proces je gotov ili
- ukoliko donosioc nije zadovoljan predloženim efikasnim rešenjem, određeno efikasno rešenje se odbacuje i traži se novo.

Ovaj postupak se ponavlja sve dok donosioc odluke ne bude zadovoljan određenim efikasnim rešenjem. Na opisani način donosioc odluke može dobro upoznati skup svih efikasnih, a time i skup svih mogućih rešenja. Nedostatak ove metode je što donosioc odluke često može biti nedosledan u preferisanju određenih rešenja.

*Stohastičke metode* se koriste kod višekriterijumskog odlučivanja u procesima sa određenom neizvesnošću nastalom, na primer, usled nedovoljnog poznavanja procesa i sistema koji se želi optimizovati. Nedefinisana preferencijalna struktura obično predstavlja najvažniji izvor neizvesnosti. U takvim slučajevima se pristupa analizi osetljivosti rešenja koja

se provodi nekim od algoritama za determinističku optimizaciju. Time se ne dobijaju smernice za izbor rešenja, ali se može utvrditi uticaj neizvesnosti na rešenja. U tom smislu se definiše tzv. „struktura poverenja“ na osnovu koje se odredjuju efikasna rešenja. Izrada preferencijalne strukture koja bi sadržala i „strukturu poverenja“ danas je još uvek otvoren problem.

Posebna karakteristika *metoda za odredjivanje efikasnih rešenja* jeste odredjivanje celog skupa efikasnih rešenja bez uključivanja preferencijalne strukture. Polazi se od pretpostavke da preferencijalna struktura nije formalno definisana (ili da ne može biti formalno definisana) zbog čega je nemoguće odrediti (krajnju) kriterijumsku funkciju koju treba optimizovati. Zbog toga se neka od mogućih rešenja obično eliminišu na osnovu vrednosti kriterijumskih funkcija, pa se takvom eliminacijom dobije skup efikasnih rešenja  $E$ . Taj se skup zatim izloži donosiocu odluke i na osnovu njegove preferencije odredjuje se konačno rešenje. Ovakav postupak ne omogućava donosiocu odluke bolje upoznavanje samog sistema.

*Metode sa unapred zadatom preferencijalnom strukturom* zasnivaju se na pretpostavci da se skup kriterijumskih funkcija (tzv. kriterijumski prostor) može potpuno ili delimično (parcijalno) urediti. To se može učiniti jedino u slučaju kada su unapred zadate preferencije donosioca odluke na bazi kojih se definišu relacije uredjenja. Time se ujedno i omogućava provodjenje postupka eliminacije u skupu efikasnih rešenja. Zato se u ovim slučajevima proces višekriterijumske optimizacije svodi na proces jednokriterijumske optimizacije koji se potom rešava uobičajenim metodama. Nedostatak u primeni ovih metoda ogleda se u tome što donosioc odluke često želi videti barem preliminarnu rezultate višekriterijumske optimizacije, pa ne želi (ne zna ili ne može) unapred zadati preferencijalnu strukturu.

*Metodama kompromisnog programiranja* najpre se odredjuje idealno rešenje, odnosno, vektor kojeg sačinjavaju idealne vrednosti kriterijumskih funkcija. Medjutim, ono je vrlo retko i moguće rešenje (odnosno, elemenat skupa mogućih rešenja  $X$ ). Zato se mora odrediti elemenat skupa  $X$ , „najbliži“ idealnom rešenju, pri čemu se udaljenost izmedju rešenja računa pomocu  $L_p$  – metrike. Taj se elemenat naziva kompromisno rešenje. Budući da se u definiciji  $L_p$  – metrike kao parametar pojavljuje prirodan broj  $p$ , moguće je odredjivanje beskonačno mnogo kompromisnih rešenja (za svako  $p$  po jedno). U praksi se obično odredjuju rešenja za  $p = 1$ ,  $p = 2$  i  $p = \infty$ , te se vrši njihovo upoređivanje na osnovu odstupanja od idealnih vrednosti (po pojedinim kriterijumima), a nakon toga donosi se konačna odluka.

Treba istaći da je upoređivanje i vrednovanje metoda višekriterijumske optimizacije takodje višekriterijumski problem, pri čemu se razmatra je li neka metoda kvantitativna ili kvalitativna, zatim aktivnost donosioca odluke, mogućnost primene na što veću klasu problema itd. Budući da su u praksi donosioci odluke često složeno strukturisani subjekti (npr. nadzorni odbori, saveti, skupštine i sl.), obično se kao najprihvatljivije uzimaju interaktivne metode, a kao najmanje prihvatljive metode sa unapred zadatom preferencijalnom strukturom.

U problemima vezanim za linijske infrastrukturne objekte u kojima treba doneti neku odluku, donosioc odluke (pojedinaac ili grupa ljudi) obično je predstavnik neke veće grupe ili zajednice, a njegova uloga je da pripremi skup alternativa koje ulaze u postupak donošenja



konačne odluke. Tada se celi postupak višekriterijumske optimizacije nužno mora jasno i pregledno dokumentovati i obrazložiti, prikazujući sve posledice pojedinih odluka s obzirom na svaki kriterijum (ili grupu kriterijuma) pojedinačno.

#### 4.3.2 Analitički hijerarhijski proces (AHP – The Analytic Hierarchy Process)

Metoda Analitički hijerarhijski proces (AHP - The Analytic Hierarchy Process) spada u najpoznatije i poslednjih godina najviše korišćene metode za odlučivanje kada se proces odlučivanja, odnosno, izbor neke od raspoloživih alternativa ili njihovo rangiranje, bazira na više atributa koji imaju različitu važnost i koji se izražavaju pomoću različitih skala. AHP metoda omogućava fleksibilnost procesa odlučivanja i pomaže donosiocima odluka da postave prioritete i donesu kvalitetnu odluku uzevši u obzir i kvalitativne i kvantitativne aspekte odluke, [62].

AHP metodu je razvio Thomas Saaty početkom sedamdesetih godina dvadesetog veka i ona predstavlja vrlo važnu metodu za odlučivanje. Ova metoda ima svoju primenu u rešavanju kompleksnih problema čije elemente čine ciljevi, kriterijumi, podkriterijumi i alternative. O važnosti Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) dovoljno govori činjenica da je metoda detaljno proučavana i unapređivana putem mnogih naučnih radova na prestižnim svetskim univerzitetima, te da se ranije svake dve, a sad već svake godine održava međunarodna naučna konferencija ISAHP, posvećena AHP metodi i njenim primenama (International Conference on Analytic Hierarchy Process).

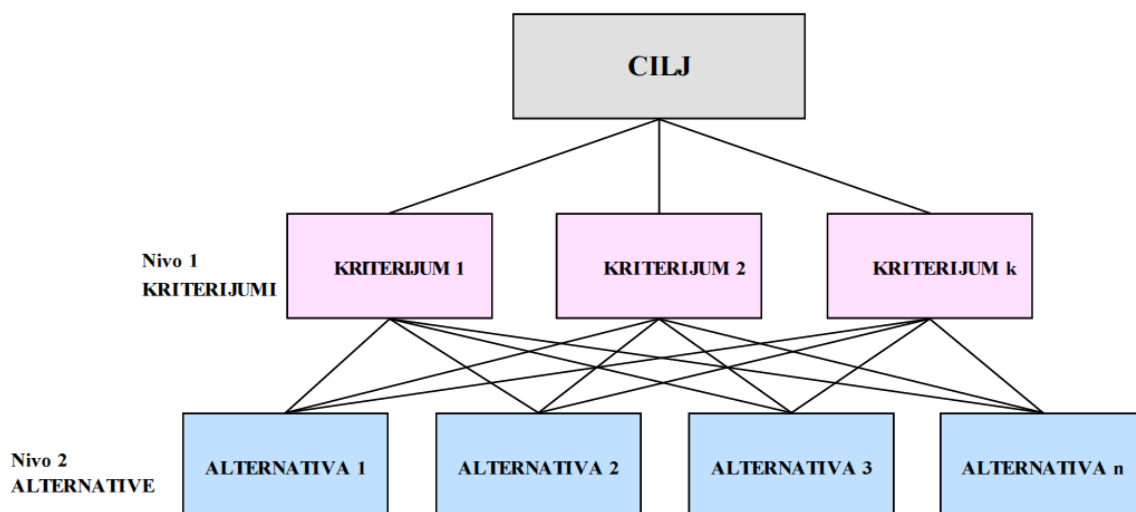
Širok spektar primena AHP metode dovoljan je dokaz da je AHP metoda danas jedna od najpopularnijih i najčešće korišćenih metoda za višekriterijumsko odlučivanje u rešavanju realnih problema. Primenuje se u odlučivanju, evaluaciji, alokaciji resursa, planiranju i razvoju, ali i u područjima kao što su industrija, inženjerstvo, politika, obrazovanje i mnoga druga.

##### 4.3.2.1 Metodološke osnove AHP metode

Analitički hijerarhijski proces (AHP) spada u klasu metoda za „meku“ optimizaciju. U osnovi se radi o specifičnom alatu za formiranje i analizu hijerarhija odlučivanja. AHP najpre omogućava interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma (podkriterijuma) i alternativa) u *top-down* smeru. Na kraju se vrši sinteza svih vrednovanja i po strogo utvrdjenom matematičkom modelu određuju težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije. Zbir težinskih koeficijenata elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak je **jedan (1)**, što omogućava donosiocu odluka da rangira sve elemente u horizontalnom i vertikalnom smislu. AHP omogućava interaktivnu analizu osetljivosti postupka vrednovanja na konačne rangove elemenata hijerarhije. Pored toga, tokom vrednovanja elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, proverava se konzistentnost rezonovanja donosioca odluka i utvrđuje ispravnost dobijenih rangova alternativa i kriterijuma, kao i njihovih težinskih vrednosti.

Metodološki posmatrano, AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiju. Cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, dok su kriterijumi, podkriterijumi i alternative na nižim nivoima. Kao ilustracija, na Slici 4.4, data je hijerarhija

koju čine cilj, tri kriterijuma i četiri alternative. Hijerarhija ne mora da bude kompletna. Na primer, elementat na nekom nivou ne mora da bude kriterijum za sve elemente u podnivou, tako da se hijerarhija može podeliti na podhijerarhije kojima je zajednički jedino elementat na vrhu hijerarhije.



**Slika 4.4:** Hijerarhijski model – AHP struktura, [62]

Analitički hijerarhijski proces je fleksibilan jer omogućava da se kod složenih problema sa mnogo kriterijuma i alternativa relativno jednostavno nadju relacije izmedju uticajnih faktora, prepozna njihov eksplicitni ili relativni uticaj i značaj u realnim uslovima i odredi dominantnost jednog faktora u odnosu na drugi. Metoda, naime, anticipira činjenicu da se i najsloženiji problem može razložiti na hijerarhiju i to tako da su u dalju analizu uključeni i kvalitativni i kvantitativni aspekti problema. AHP drži sve delove hijerarhije u vezi, tako da je jednostavno sagledati kako promena jednog faktora utiče na ostale faktore. Kompleksnost problema raste sa brojem kriterijuma i alternativa. Sposobnost ljudskog uma u medjusobnom razlikovanju velikog broja alternativa i kriterijuma je ograničena, pa se shodno tome, pri formiranju hijerarhije ne preporučuje više od  $5 \pm 2$  elemenata na istom nivou. Rasčlanjivanje složenih problema na jednostavnije koji se grupišu po određenoj logici medjusobne sličnosti, prirodan je način delovanja ljudskog uma, [10].

AHP omogućava i interaktivnu analizu osetljivosti. Preko analize osetljivosti sagledava se kako promene ulaznih podataka utiču na izlazne rezultate. U analizi osetljivosti mogu se simulirati važnosti kriterijuma/podkriterijuma i posmatrati promene u rangju alternativa. Analiza se može izvesti iz cilja ili bilo kog drugog objekta u hijerarhiji kako bi se utvrdilo da li je rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promene ulaznih podataka. Ukoliko se promenom ulaznih podataka za 5% u svim mogućim kombinacijama ne promeni rang alternativa, smatra se da je postignuta stabilnost rezultata, [9].

U [68], [4] i [31] definisani su aksiomi na kojima se AHP zasniva. Ti aksiomi su sledeći:

- *Aksiom recipročnosti.* Ako je element  $A$   $n$  puta značajniji od elementa  $B$ , tada je element  $B$ ,  $1/n$  puta značajniji od elementa  $A$ ;
- *Aksiom homogenosti.* Poredjenje ima smisla jedino ako su elementi uporedivi – na primer, ne može se porediti težina komarca i težina slona;

- *Aksiom zavisnosti.* Dozvoljava se poredjenje medju grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element višeg nivoa, to jeste, poredjenja na nižem nivou zavise od elementa višeg nivoa;
- *Aksiom očekivanja.* Svaka promena u strukturi hijerarhije zahteva ponovno računanje prioriteta u novoj hijerarhiji.

Primena AHP metode može se objasniti u četiri osnovna koraka [68]:

- razvijanje hijerarhijskog modela problema odlučivanja, sa ciljem na vrhu, kriterijumima i podkriterijumima na nižim nivoima i alternativama na dnu modela (Slika 4.4),
- upoređivanje elemenata u parovima na svakom nivou hijerarhijske strukture, pri čemu se preferencije donosioca odluke izražavaju pomoću Saaty-eve skale relativne važnosti koja ima 5 stepeni i 4 medjustepena inteziteta, koji su verbalno opisani i imaju odgovarajuće numeričke vrednosti u rasponu od 1-9, [68], [62], (Tabela 4.2),
- izračunavaju se lokalni prioriteti (težine) kriterijuma, podkriterijuma i alternativa iz procena relativnih važnosti elemenata odgovarajućeg nivoa hijerarhijske strukture problema pomoću matematičkog modela, koji se zatim sintetizuju u ukupne prioritete alternativa. Ukupni prioritet pojedine alternative izračunava se tako što se saberu njeni lokalni prioriteti ponderisani sa težinama elemenata višeg nivoa i
- na kraju se sprovodi analiza osetljivosti.

**Tabela 4.2:** Saaty-eve skale relativne važnosti, [68], [62]

Numerička vrednost	Definicija	Značaj
1	JEDNAKO	Dva elementa su identičnog značaja u odnosu na nadredjeni element
3	SLABA DOMINACIJA	Iskustvo ili rasudjivanje neznatno favorizuje jedan element u odnosu na drugi
5	JAKA DOMINACIJA	Iskustvo ili rasudjivanje znatno favorizuje jedan element u odnosu na drugi
7	VRLO JAKA DOMINACIJA	Dominantnost jednog elementa potvrđena u praksi
9	APSOLUTNA DOMINACIJA	Dominantnost najvišeg stepena
2, 4, 6, 8	Medjuvrednosti	Potreban kompromis ili dalja podela
$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{9}$	Suprotna dominacija	

#### 4.3.2.2 Matematička osnova AHP metode

U objašnjenju drugog i trećeg koraka AHP metode (upoređivanja elemenata na svakom nivou hijerarhijske strukture i izračunavanja težinskih koeficijenata i prioriteta), koristi se matematička notacija.

Neka je  $n$  broj kriterijuma (ili alternativa) čije težine (prioritete)  $w_i$  treba odrediti na osnovu procene vrednosti njihovih odnosa koji se označavaju sa  $a_{ij} = w_i/w_j$ . Od odnosa relativnih važnosti  $a_{ij}$  formira se matrica relativnih važnosti  $A$ :

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdot & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdot & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdot & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}. \quad (4.38)$$

Matrica  $A$  za slučaj konzistentnih procena, za koje važi  $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$ , zadovoljava jednačinu  $Aw = nw$ ,

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdot & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdot & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdot & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}. \quad (4.39)$$

Problem rešavanja težina može se rešiti kao problem rešavanja jednačine po  $w$  za ne nulto rešenje karakteristične vrednosti  $\lambda$ :

$$Aw = \lambda w. \quad (4.40)$$

Matrica  $A$  ima posebna svojstva, ona je pozitivna, recipročna matrica,  $r(A)=I$ , (svi njeni redovi proporcionalni su prvom redu, svi su pozitivni i važi da je  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ), zbog kojih je samo jedna njena karakteristična vrednost različita od nule (0) i jednaka je  $n$  (sve ostale karakteristične vrednosti su jednake nuli).

Budući da je suma karakterističnih vrednosti pozitivne matrice jednaka tragu te matrice ili sumi dijagonalnih elemenata, ne nulta karakteristična vrednost ima vrednost  $n$ :

$$\lambda_{\max} = n. \quad (4.41)$$

Ukoliko matrica  $A$  sadrži nekonzistentne procene (u praktičnim primerima gotovo uvek je tako), vektor težina  $w$  može se dobiti rešavanjem jednačine:

$$A - \lambda_{\max} I \cdot w = 0 \text{ uz uslov } \sum w_i = 1, \quad (4.42)$$

gde je  $\lambda_{\max}$  najveća karakteristična vrednost matrice  $A$ , ili:

$$A \cdot w = n \cdot w \Rightarrow \sum_j a_{ij} w_j = n w_i, \quad (4.43)$$

odakle je:

$$w = \frac{1}{n} \sum_j a_{ij} w_j. \quad (4.44)$$

Kako je:

$$\sum_i a_{ij} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_i}, \quad (4.45)$$

proizilazi da je:

$$w_j = \frac{1}{\sum_i a_{ij}}. \quad (4.46)$$

Sahodno tome, težina pojedine alternative  $w_i$  jednaka je:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}. \quad (4.47)$$

Sinteza prioriteta vrši se na način da se lokalni prioriteti alternativa ponderišu sa težinama svih čvorova kojima pripadaju, od najnižeg nivoa hijerarhijske strukture prema vrhu, a zatim se ti globalni prioriteti za najviši nivo sabiraju, te se određuje ukupni prioritet za pojedinu alternativu.

Zbog svojstava matrice  $A$ , važi da je  $\lambda_{max} = n$ , a razlika  $\lambda_{max} - n$  koristi se u merenju konzistencije procena. U slučaju nekonzistentnosti, što je  $\lambda_{max}$  bliža  $n$ , procena je konzistentnija.

#### 4.3.2.3 Konzistentnost donosioca odluke

AHP metoda spada u veoma popularne metode iz razloga što ima sposobnost identifikovanja i analiziranja nekonzistentnosti donosioca odluke u procesu upoređivanja elemenata hijerarhije. Čovek je retko konzistentan pri procenjivanju vrednosti ili odnosa kvalitativnih elemenata u hijerarhiji, a uzroci nekonzistentnosti mogu biti različiti, [24]:

- nedostatak koncentracije procenitelja – usled umora ili nezainteresovanosti,
- administrativna greška – najčešći razlog nekonzistencije je unos pogrešne (inverzne) vrednosti pojedinog težinskog faktora; administrativne greške često prodju neprimećeno u mnogim kompjuterskim analizama,
- nepostojanje konzistencije u stvarnom problemu koji treba modelirati, jer je stvarni svet često nekonzistentan,
- neadekvatna struktura modela – u idealnoj hijerarhijskoj strukturi faktori su na svakom nivou uporedivi u okvirima postojeće skale (1-9); previsoka nekonzistentnost može nastati jer su nužna ekstremna određivanja prioriteta u parovima i
- nedostatak informacija – pomanjkanjem pravih informacija (zbog ličnog propusta ili namernog izbegavanja troškova za prikupljanje potrebnih podataka).

Uz pomoć indeksa konzistencije  $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$  izračunava se odnos konzistencije  $CR = CI / RI$ , gde je  $RI$  slučajni indeks, odnosno, indeks konzistencije (primenjuje se samo ako je  $n=3$ ) za matrice reda  $n$ , slučajno generisanih upoređenja u parovima (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3: Vrednosti RI slučajnih indeksa [68]**

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Ako za matricu  $A$  važi da je  $CR \leq 0,10$ , procene relativnih važnosti kriterijuma (prioriteta alternativa) smatraju se prihvatljivim. U suprotnom treba istražiti razloge zbog kojih je nekonzistentnost procena neprihvatljivo visoka.

#### 4.3.2.4 Prednosti i nedostaci AHP metode

Na prednosti Analitičkog hijerarhijskog procesa, kao metode za podršku odlučivanju, ukazivali su brojni naučnici i praktičari, [4], [25], [31], [37], [50], [62], [66], [67], [68], [76], [84]. U poredjenju sa drugim metodama, AHP metoda je često pokazivala bolje praktične karakteristike što je od velike važnosti, pogotovu ukoliko se ima u vidu još uvek prisutni animozitet donosioca odluka prema sofisticiranim metodama odlučivanja.

Naravno, AHP metoda ima i određene nedostatke koji nisu direktno vezani za metodološke niti matematičke osnove metode, ali se navode kao njena ograničenja.

Od značajnijih prednosti AHP metode izdvajaju se sledeće, [4], [10], [25], [31], [37], [50], [62], [66], [67], [68], [76], [84]:

- AHP strukturise problem odlučivanja i uspešno simulira proces donošenja odluka od definisanja cilja, kriterijuma i alternativa, do upoređivanja kriterijuma i alternativa u parovima i dobijanja rezultata, odnosno, utvrđivanja prioriteta svih alternativa u odnosu na postavljeni cilj. Ona dekomponuje realni proces odlučivanja tako što razlaže problem u hijerarhiju elemenata tog procesa, te poštujući činjenicu da donosioc odluka na mentalnom planu uglavnom ne razdvaja proces procenjivanja kriterijuma od alternativa, omogućava kontrolu konzistentnosti procena vodeći računa o celini problema i funkcionalnim interakcijama kriterijuma i alternativa;
- AHP integriše kvalitativne i kvantitativne faktore u odlučivanju. Praksa do uvođenja AHP-a ignorisala je važnost kvalitativnih faktora u odlučivanju, ne uzimajući u obzir da su svi ljudski problemi kombinacija psiholoških i fizičkih aktivnosti, kvalitativnih i kvantitativnih elemenata. AHP je teorija relativnog merenja koja koristi apsolutnu skalu za merenje kvalitativnih i kvantitativnih kriterijuma koji su homogeni i bazirani na procenama eksperata;
- AHP uspešno identifikuje i ukazuje na nekonzistentnost donosioca odluka praćenjem nekonzistentnosti u procenama tokom celog postupka, izračunavanjem indeksa i odnosa konzistencije. U toku procenjivanja korisnik ima osećaj da programski alat ispravno prati njegov proces razmišljanja i da mu pravovremeno ukazuje da li je procenjivanje konzistentno. Ovo je važno kada se uzme u obzir da su donosioci odluka retko kada konzistentni u svom procenjivanju u odnosu na kvalitativne aspekte problema. Kod kombinacija kvalitativnih i kvantitativnih kriterijuma, mogućnosti za pojavu nekonzistentnosti su najizraženije;
- Redundantnost upoređivanja u parovima dovodi do toga da je AHP metoda manje osetljiva na greške u procenjivanju;
- Kada se koristi pri grupnom donošenju odluka, AHP metoda značajno poboljšava komunikaciju medju članovima grupe. Ukoliko se provodi diskusija, grupa se treba usaglasiti oko svake zajedničke procene koja će se uneti u matricu. AHP pomaže u strukturisanju diskusije i postizanju koncenzusa. Ukoliko govorimo o grupnom odlučivanju u kojem svaka osoba ima mogućnost unosa procena, izbegava se mogućnost takozvanog „zajedničkog mišljenja“, jedinstvenog mišljenja svih članova grupe do kojeg dolazi zbog velikog pritiska na učesnike koji imaju drugačije mišljenje. Svaki učesnik učestvuje u zajedničkoj diskusiji, ali na njenom završetku

individualno unosi svoju procenu. Time se postiže bolje razumevanje, a u krajnjem ishodu članovi grupe imaju više poverenja u izabranu alternativu;

- Odlučivanje AHP metodom povećava znanje o problemu i snažno i brzo motiviše donosiocce odluke. Procesom odlučivanja dolazi se do približnog rešenja problema i to obično većom brzinom nego na većini sastanaka, ali i sa manjim troškovima procesa donošenja odluke. Tako dobijeni rezultati mogu se koristiti i kao ulazni podaci za projekat ili studiju izvodljivosti, odnosno, za kompleksniju odluku;
- Rezultati odlučivanja AHP metodom ne sadrže samo rang alternativa, već i informacije o težinskim koeficijentima kriterijuma u odnosu na cilj i podkriterijuma u odnosu na kriterijume;
- AHP omogućava donosiocu odluka analizu osetljivosti rezultata pomoću koje se proverava stabilnost dobijenih rezultata na način da se simulira odnos izmedju težina kriterijuma i prioriteta alternativa;
- Postojanje kvalitetnih programskih alata koji podržavaju AHP metodu. Najčešće korišćeni alat je *Expert Choice 11* koji ima mnoge prednosti. Te prednosti su: jednostavnost modeliranja, dizajn prilagodjen prosečnom korisniku kompjutera, mogućnost korigovanja procena od strane korisnika i dr.

AHP metoda ima i određena ograničenja sa kojima se korisnici mogu susresti prilikom njene primene, a mnogi naučnici se bave načinima za njihovo otklanjanje. Neka od ograničenja AHP-a koja se češće navode u literaturi, [12], [20], [43], [73], [77], [78], su:

- nedovoljno velika skala (Saaty-eva skala relativne važnosti) za upoređivanje elemenata u parovima, vezano uz neke probleme odlučivanja,
- veliki broj potrebnih komparacija u parovima, kod većine problema,
- postizanje prihvatljivog odnosa konzistencije je često vrlo teško i
- nisu dozvoljene alternative koje nije moguće upoređivati.

Prvi i poslednji navedeni nedostatak se najčešće spominju kao najveći nedostaci AHP metode.

#### **4.3.2.5 Pregled primena AHP metode**

AHP metoda ima vrlo širok spektar primena. Korišćena je u rešavanju problema u raznim područjima kao što su: menadžment, industrija, inženjerstvo, politika, obrazovanje, sport. Vaidya i Kumar objavili su 2006. godine pregled literature, [86], ukupno 150 publikacija objavljenih u uglednim međunarodnim naučnim časopisima u razdoblju od 1983.–2003. godine, u kojima je AHP metoda primenjena u rešavanju određenog tipa problema.

Pregled publikacija je analiziran prema tematici i području primene. Prema tematici primene, AHP je najčešće primenjivana u rešavanju problema odabira (32 publikacije), te evaluacije (26 publikacija). AHP metoda je primenjena manji broj puta u predviđanjima, odnosno, objavljene su samo četiri publikacije u kojima AHP služi u rešavanju problema predviđanja.

Analizirajući područje primene, AHP je najčešće primenjivana u rešavanju ličnih problema (26 publikacija), te u domenu inženjerstva (26 publikacija). Relativno mali broj primena ima u politici (šest publikacija) i obrazovanju (11 publikacija). Gledajući vremensku distribuciju objava, najveći broj publikacija, ukupno 58%, objavljeno je u razdoblju od 1998. – 2003. godine, a samo 18 publikacija je objavljeno pre 1990. godine.

Analitički hijerarhijski proces je često primenjivan u integraciji s nekim drugim metodama, pa je pregled literature u kojoj je AHP metoda primenjena u integraciji s nekom drugom metodom, u razdoblju od 1997. – 2006. godine, napravio i objavio Ho 2008. godine, [32]. Najveći broj publikacija je usmeren na integraciju AHP-a i matematičkog programiranja (33 publikacije), te na primenu integracije AHP-a i QFD-a (Quality Function Deployment) u rešavanju određenog problema (16 publikacija).

#### 4.3.2.6 Grupno odlučivanje AHP metodom uz podršku *Expert Choice 11*

Programski alat *Expert Choice 11* omogućava primenu metode AHP kroz nekoliko faza. U početnoj fazi vrši se interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao priprema scenarija odlučivanja. Zatim se vrši vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma, podkriterijuma i alternativa) u *top-down* ili *bottom-up* smeru, te se na kraju vrši sinteza svih vrednovanja i po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuju se težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije. Zbir težinskih koeficijenata elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak je jedan (1), što omogućava donosiocu odluka da rangira sve elemente u horizontalnom i vertikalnom smislu. Omogućena je i provera konzistentnosti rezonovanja donosioca odluke i utvrđivanje ispravnosti rangova alternativa i težinskih vrednosti kriterijuma i podkriterijuma.

Verzija 11 programskog alata *Expert Choice* podržava i grupno odlučivanje i korišćena je u testiranju razvijenog AHP modela. Grupno odlučivanje uz podršku alata *Expert Choice 11* je sprovedena tako što je svaki učesnik unosioc svoje individualne procene u sistem, a sinteza individualnih procena izvršena je izračunavanjem geometrijske sredine. Aczel i Saaty, [3], matematički su dokazali da ukoliko se koriste recipročne procene, geometrijska sredina je jedini način kojim se mogu kombinovati individualne procene. Aczel i Alsina, [2], su dokazali da ukoliko donosioci odluka imaju različit uticaj na konačnu odluku, taj uticaj je potrebno izraziti preko koeficijenta važnosti svakog donosioca odluke, te njihove procene ponderisati tim koeficijentom važnosti. Grupno donošenje odluka bazirano na AHP metodi detaljnije je objašnjeno u [64] i [65].

Grupno odlučivanje ima određene prednosti i nedostatke. Grupa, u većini slučajeva, donosi bolje i kvalitetnije odluke od pojedinca jer poseduje tzv. „višedimenzionalno mišljenje“. Individualni donosioc odluke obično generiše manji broj ideja kao i manji broj mogućnosti za rešenje problema. Grupno odlučivanje uključuje učesnike sa različitim znanjima i veštinama, koji su motivisani zajedničkim interesom. Postoji i veća spremnost grupe za donošenjem raznovrsnijih odluka jer se rizik deli na sve članove grupe. Grupno donešenu odluku takodje je lakše sprovesti jer je prihvataju svi ili većina učesnika procesa grupnog odlučivanja. Sa jedne strane, veći broj učesnika demokratizuje odlučivanje, dok sa druge strane imamo situaciju da je takvo odlučivanje sporije i često skuplje, te postoji opasnost od nametanja mišljenja autoritativnog člana grupe.

Pozitivni aspekti grupnog donošenja odluka su sledeći:

- grupa često bolje razume zašto postoji potreba za donošenjem odluke,
- znanje grupe je često veće od znanja pojedinca,
- grupa obično generiše veći broj alternativa za rešavanje problema,
- participacija u odlučivanju povećava prihvatanje odluke od strane članova grupe i



- odgovornost i rizik se dele na članove grupe.

Negativni aspekti grupnog donošenja odluka su sledeći:

- duže trajanje procesa donošenja odluka,
- opasnost od dominacije autoritativnog člana grupe (tzv. zajedničko mišljenje),
- pritisci za slaganjem mogu ograničavati i sputavati članove grupe,
- mogućnost konflikata i neslaganja između članova grupe,
- konkurencija između članova grupe može postati važnija od samog problema i
- postoji tendencija prihvatanja prvog prihvatljivog rešenja.

Primenom grupnog odlučivanja uz pomoć Expert Choice 11 alata i unošenjem individualnih procena donosioca odluke, nezavisno od drugih članova grupe, izbegavaju se nedostaci grupnog odlučivanja, i to:

- sprečava se nastanak „zajedničkog mišljenja“, jedinstvenog mišljenja svih članova grupe, do kojeg dolazi zbog velikog pritiska na učesnike koji imaju drugačije, suprotno mišljenje,
- svaki učesnik individualno unosi svoju procenu,
- zahvaljujući softverskoj i hardverskoj podršci, proces odlučivanja, a naročito obrada rezultata, se ubrzava i
- konflikti i neslaganje između donosioca odluke faktički nisu mogući jer odluku svaki pojedinac donosi samostalno i nije potrebno da se cela grupa složi oko zajedničke odluke – ona se postiže sintezom individualnih procena.

Učesnici u procesu odlučivanja mogu se podeliti na: moderatora (koordinatora) i učesnike (donosioca odluka). Moderator gradi AHP model i koordinira proces grupnog donošenja odluke. Donosiocima odluka nazivaju se učesnici procesa grupnog odlučivanja.

Moderator pre početka procesa grupnog odlučivanja unosi imena učesnika, socio-demografske karakteristike, šifre i ostale dostupne informacije. Odlučivanje može biti anonimno ili javno. Ako je javno, donosioci odluke su prepoznatljivi svojim imenom i prezimenom, te osnovnim socio-demografskim karakteristikama.

Prava i zaduženja moderatora su (Expert Choice, Quick Start Guide and Tutorials):

- kreiranje AHP modela,
- strukturisanje i tehnike izgradnje modela,
- generisanje pristupnih šifara i unošenje podataka o učesnicima koji učestvuju u procesu odlučivanja,
- kombinovanje i integrisanje procena učesnika,
- kontinuirana provera nekonzistentnosti.

Prava i zaduženja učesnika su (Expert Choice, Quick Start Guide and Tutorials):

- unos procena,
- kreiranje belješki (objašnjenje procena),
- analiza svojih rezultata i
- uz dopuštenje moderatora, učesnici mogu dobiti uvid u sintezu rezultata grupnog odlučivanja.

Donosioci odluke na postavljena pitanja, putem korisničkog zaslona, unose ocene s obzirom na važnost koju pridaju jednom elementu u odnosu na drugi. Vrednovanje se može vršiti

numerički, grafički ili verbalno. U testiranju razvijenog AHP modela, izabrana je opcija numeričkog vrednovanja kao najjednostavnija za ocenjivanje. Numerička komparacija se vršila na način da su učesnici odlučivanja unosili ocene od 1-9, te na taj način vršili numeričku procenu prema Satty-evoj skali relativne važnosti.

Upoređivanje elemenata u parovima može se vršiti opcijom *importance* (važnost), *preference* (prioritetnost) ili *likelihood* (sličnost). Opcija *importance* se preporučuje kod upoređivanja objekata (kriterijuma i podkriterijuma), opcija *preference* kod upoređivanja alternativa u odnosu na objekte i opcija *likelihood* kod scenarija i nesigurnih događaja, tipa analize rizika (Expert Choice, Quick Start Guide and Tutorials). U ovom slučaju, izabran je pristup upoređivanja elemenata prema važnosti (engl. *importance*) kod kriterijuma i podkriterijuma i prema prioritetu (engl. *preference*) kod upoređivanja alternativa u odnosu na objekte. Primenjeno je upoređivanje „*top-down*“ metodom.

Učesnici su pre početka procesa odlučivanja upozoreni na moguću nekonzistentnost. AHP metoda ima sposobnost da identifikuje i analizira nekonzistentnost donosioca odluka u procesu vrednovanja elemenata hijerarhije (detaljnije opisano u Tački 4.3.1.3). Čovek teško zadržava konzistentnost pri procenjivanju vrednosti ili odnosa kvalitativnih elemenata u hijerarhiji. AHP na odredjen način ublažava ovaj problem tako što meri stepen nekonzistentnosti i o tome obaveštava moderatora. Opcija *inconsistency* u alatu Expert Choice 11 identifikuje moguće greške i nekonzistentnost u proceni. Pokazatelj nekonzistentnosti (engl. Inconsistency ratio) mora biti manji od 0.1 da bi se rezultati smatrali konzistentnim. Moderator tokom procesa odlučivanja mora proveravati indeks nekonzistentnosti i ukazivati na nekonzistentnost, ukoliko ona postoji.

Kada je proces grupnog odlučivanja završen, moderator vrši pregled, obradu i analizu rezultata.

---

## DEFINISANJE NOVOG MODELA ZA IZBOR OPTIMALNOG REŠENJA KORIDORA LINIJSKIH INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

### 5.1 Pregled i analiza literature o postojećim modelima

Tokom definisanja i analize problema istraživanja za ovu disertaciju, pregledan je veliki broj knjiga, naučnih radova, master, magistarskih i doktorskih radova, kao i veći broj skripti i beleški sa predavanja eminentnih stručnjaka iz ove oblasti. Za vrednovanje varijantnih rešenja koridora infrastrukturnog objekta (što odgovara nivou Generalnog projekta), razvijeni su određeni modeli, kako jednokriterijumskog tako i višekriterijumskog vrednovanja.

Doajen saobraćajnog inženjerstva, Prof. Ljubiša Kuzović, daje jedan od najdetaljnijih pregleda modela za vrednovanje projekata puteva, [41], kao najrasprostranjenijeg oblika linijskog infrastrukturnog objekta. Među nabrojanim modelima, kao najznačajniji, navode se modeli ekonomskog i funkcionalnog vrednovanje projektnih rešenje. U dodatku pomenute knjige, navodi se i nekoliko višekriterijumskih modela gde su primenjene različite metode višekriterijumskog odlučivanja. Profesor Opricović daje opsežan pregled primene višekriterijumskih metoda u odabiru optimalnog rešenja sistema u gradjevinarstvu, [55]. Među njima, navodi i najznačajnije infrastrukturne sisteme (puteve, železnice, vodovodne sisteme). U [37], navodi se ukupno pet modela vrednovanja varijantnih rešenja. Pored tri koja su navedena u [41], navode se i investiciono i ekološko vrednovanje. Značaj ekološkog vrednovanja daje se i u [11], [38], [47].

Kada su infrastrukturni objekti u pitanju, odnosno, evaluacija ili odabir optimalnog prostornog rešenja za te objekte, u Srbiji su razvijani različiti modeli. U [95], razvijen je složeni model primene GIS-a u kombinaciji sa metodama VKO. U svetu su razvijani mnogobrojni složeni modeli primene metoda VKO. U [58], navodi se da je autor rada, u okviru svoje doktorske disertacije pod istim naslovom, razvio model višekriterijumske analize konkurentnosti Panevropskog koridora  $V_B$ , uvažavajući uslove ponude (konkurentnost transportne i saobraćajne usluge), uslove potražnje (sveobuhvatnost zahteva korisnika usluge), te uslove okruženja (prisutnost tržišne konkurencije alternativnih saobraćajnih pravaca). Murat i Kulak, [49], pri odabiru trase puta navode važnost Aksioma dovoljne informisanosti, kao drugog aksioma projektovanja putem aksiomskih principa. U [85], u

trodimenzionalnom modeliranju i vrednovanju varijanti koridora puteva, korišćeni su genetički algoritmi. U svojoj doktorskoj disertaciji, [92], Yakar daje kompleksan model odabira koridora putnog pravca uz pomoć GIS-a i AHP metode, koji pridaje i važnost ekološkim kriterijuma vrednovanja. U [18], [39], [42], [60] i [83], dati su raznovrsni modeli bazirani na primeni mnogih postojećih metoda višekriterijumskog odabira i evaluacije varijantnih prostornih rešenja infrastrukturnih objekata, bilo da se radi o saobraćajnicama, vodosnabdevanju ili elektroenergetskim mrežama.

### **5.1.1 Osnovni nedostaci postojećih modela**

Izbor modela za vrednovanje i rangiranje varijanti prostornog rešenja infrastrukturnih linijskih objekata je, poput problema koji se njime rešava, takodje višekriterijumski problem. Budući da ne postoji idealno, već postoji samo optimalno (odnosno, najbolje) rešenje, jasno je da i bilo koji odabrani model za vrednovanje i rangiranje varijantnih rešenja neće biti idealan, već će kao i sve drugo, imati određene, manje ili veće nedostatke. U zavisnosti od aspekta sa kojeg se posmatraju, uočavaju se i različiti nedostaci pojedinih postojećih modela.

Analizirajući postojeće modele navedene u literaturi iz prethodne tačke, došlo se do zaključka da kod najvećeg broja modela postoje određeni nedostaci koji bitno utiču na objektivnost procesa odabira optimalnog rešenja. Nadogradnjom pojedinih modela, omogućava se dobijanje jasnije slike o medjuzavisnosti kriterijuma, zavisnosti izbora optimalne alternative od značaja kriterijuma, ali i obrnuto, uticaj izbora optimalne alternative na značaj, odnosno, težinu pojedinih kriterijuma.

Veliki broj postojećih modela, i ako se bazira na analizama više od jednog kriterijuma, u suštini je ipak jednokriterijumski jer vrednovanje alternativa vrše po svakom kriterijumu ponaosob. Stoga oni gube odlike višekriterijumskog modela. Određeni broj modela, i ako je u suštini višekriterijumski, neopravdano forsirajući određenu grupu kriterijuma (u poslednje vreme najčešće ekološke), proces odabira optimalnog rešenja čine neobjektivnim.

Sa aspekta primene modela odlučivanja u procesu odabira optimalnog prostornog rešenja linijskih infrastrukturnih objekata, kao vrste objekata koji su, najčešće, javno dobro, veoma je bitno ko je stvarni donosioc odluke. Da li je donosioc odluke isključivo nadležna državna institucija, projektant, ili pak donešena odluka treba da bude produkt sveobuhvatnog procesa odlučivanja gde bi svi zainteresovani akteri, na određeni način, izrazili svoje zahteve prema nekom od alternativnih rešenja. Na žalost, najveći broj analiziranih modela govori isključivo o „donosiocu odluke“, ne precizirajući ko je „on“ u stvari.

Analiza postojećih modela je pokazala da se vrlo često kriterijumi (i podkriterijumi) vrednovanja usvajaju bez valjanog pojašnjenja zašto su oni relevantni za odabir optimalnog rešenja. Proizvoljan odabir pojedinih kriterijuma, makar oni stvarno i bili relevantni pojedinačno, dovodi do pogrešnog odabira određenog varijantnog rešenja kao optimalnog. To može biti iz nekoliko razloga: (i) oni nisu relevantni kriterijumi vrednovanja, (ii) oni jesu relevantni kriterijumi vrednovanja, ali su neosnovano izdvojeni iz grupe ostalih relevantnih kriterijuma, pa su zbog toga dobili veći značaj (težinu) nego što im ona stvarno pripada, (iii) i ako su svi razmatrani kriterijumi relevantni, zbog pogrešne hijerarhije medju njim, pojedini kriterijumi dobijaju veću, a drugi manju težinu od pripadajuće.

Čest je slučaj da se bez dovoljnog sagledavanja prirode problema koji se rešava, odabere neadekvatna metoda višekriterijumskog odlučivanja, često na bazi toga što je najjednostavnija ili se najlakše primenjuje na zadati problem ili je pak „u trendu“.

### **5.1.2 Potreba za razvojem novih modela**

S obzirom na navedene nedostatke postojećih modela (jednodimenzionalnost, proizvoljan odabir relevantnih kriterijuma i metoda vrednovanja, često ili konstantno odsustvo analize osetljivosti odabira varijantnog rešenja promenom težina pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja, nepostojanje ili pogrešno uspostavljanje hijerarhije medju elementima strukture modela, kao i često nepostojanje valjane identifikacije zainteresovanih aktera (učesnika), čije je učešće i te kako značajno u procesu odlučivanja, naročito kod javnih objekata kakvi su i infrastrukturni), nameće se potreba za razvijanjem celovitijeg, sveobuhvatnijeg modela, kao potpuno novog ili pak kao nadogradnje nekog od postojećih „zdravih“ modela.

Budući model trebalo bi da karakteriše višeakterski i višekriterijumski pristup. Relevantnost kriterijuma vrednovanja koji će se koristiti u modelu, trebala bi biti verifikovana naučnim metodama. Razvrstavanje kriterijuma u hijerarhiju treba biti pravilno izvedeno, a valjanost razvrstavanja proverena naučnom metodom. Metoda vrednovanja na kojoj će se model bazirati treba biti odabrana inteligentnim pristupom uz pomoć drveta odlučivanja i treba predviđati analizu osetljivosti odabranog rešenja na promenu težina pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja.

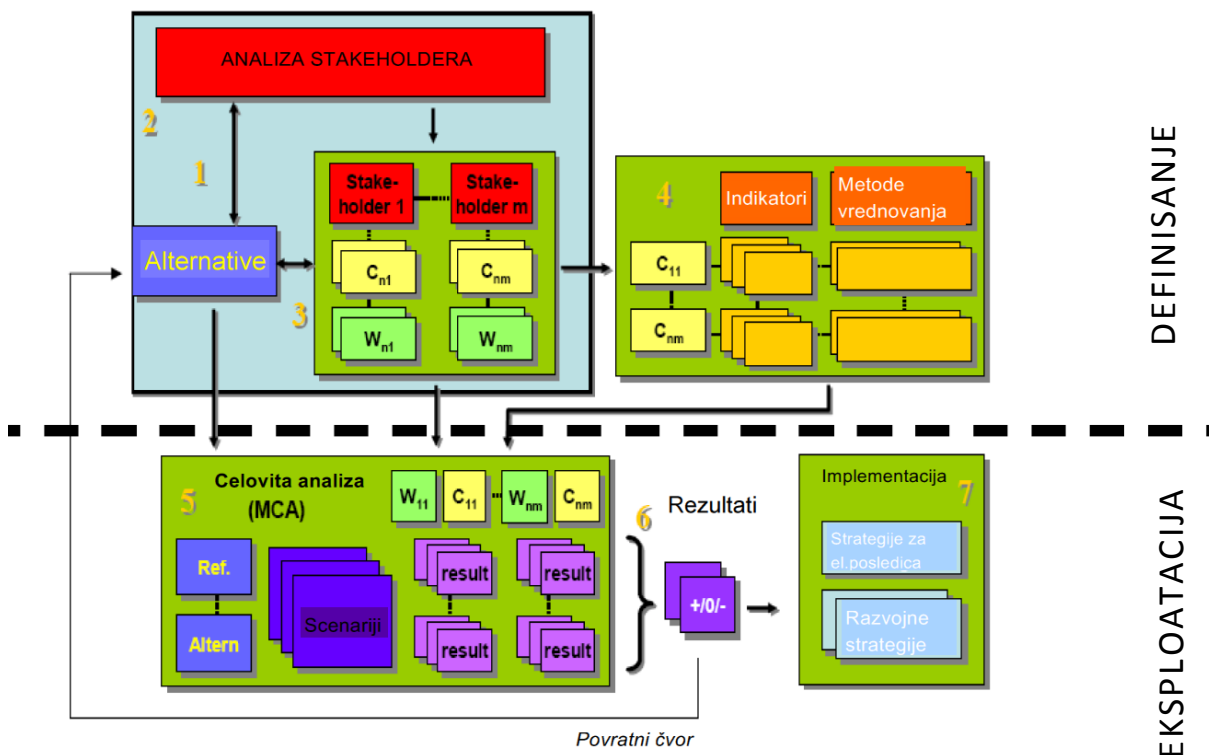
### **5.2 Razvoj novog modela**

Praktično je nemoguće formirati matematički model i optimizacioni algoritam koji bi detaljno obuhvatili ceo kompleksni sistem. Radije se posebno analiziraju delovi sistema (podsistemi), a zatim se, na osnovu dobijenih rezultata i interakcija medju podsistemima, razmatra i ceo sistem. Dekompozicija složenog sistem može biti prostorna, vremenska ili prema nameni sistema. Nad sistemom koji je dobijen jednom dekompozicijom može se izvršiti ponovna dekompozicija po istom ili drugom principu. Namenska dekompozicija se može primeniti kod višenamenskog sistema kada se jedna ili nekoliko namena posmatraju posebno, [55].

U inženjerskoj praksi planiranja sistema koristi se prilaz „diskretnih modela“ kada se, umesto izrade sveobuhvatnog matematičkog modela, projektuju varijantna rešenja. Optimizacioni model pomaže procesu odlučivanja omogućavajući analitičaru da poveže sve podatke i relacije u datoj situaciji, a rezultat toga treba da omogući izbor najbolje (optimalne) alternative, savladavajući sve kompleksnosti zadatka, [55].

U okviru ovog rada razvijen je i testiran složeni model odlučivanja u procesu odabira optimalnog prostornog rešenja koridora infrastrukturnih linijskih objekata. Model je razvijan na bati temeljitih proučavanja uradjenih analiza i studija za izradu Generalnog projekta koridora autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor III: Požega - Granica sa Crnom Gorom (Boljare), [75]. Model je zasnovan na metodologiji Višeakterske višekriterijumske analize MAMCA (The Multi Actor Multi Criteria Analysis methodology), [44], (Slika 5.1), i primeni jedne od metoda „meke“ optimizacije, Analitički hijerarhijski proces (AHP – The

Analitic Hierarchy Process) u integraciji sa drugim naučnim metodama (stakeholder analiza, anketa, deskriptivna statistika, faktorska analiza).



**Slika 5.1:** Metodologija višeažderske višekriterijumske analize (MAMCA - The Multi Actor Multi Criteria Analysis methodology)

Tokom definisanja novog modela akcenat je stavljen na otklanjanje nedostataka uočenih analizom postojećih modela (detaljnije opisano u Tački 5.1.1). Predložena metodologija omogućava celovito i sistematsko rešavanje problema u strukturisanju problema i procesu odlučivanja kod odabira optimalnog prostornog rešenja infrastrukturnih objekata, u skladu sa usvojenim kriterijumima i realnim ograničenjima. Model i postupak testiranja razvijenog modela 3N-AHP detaljno su opisani u Tačkama 5.2.1. i 5.3.

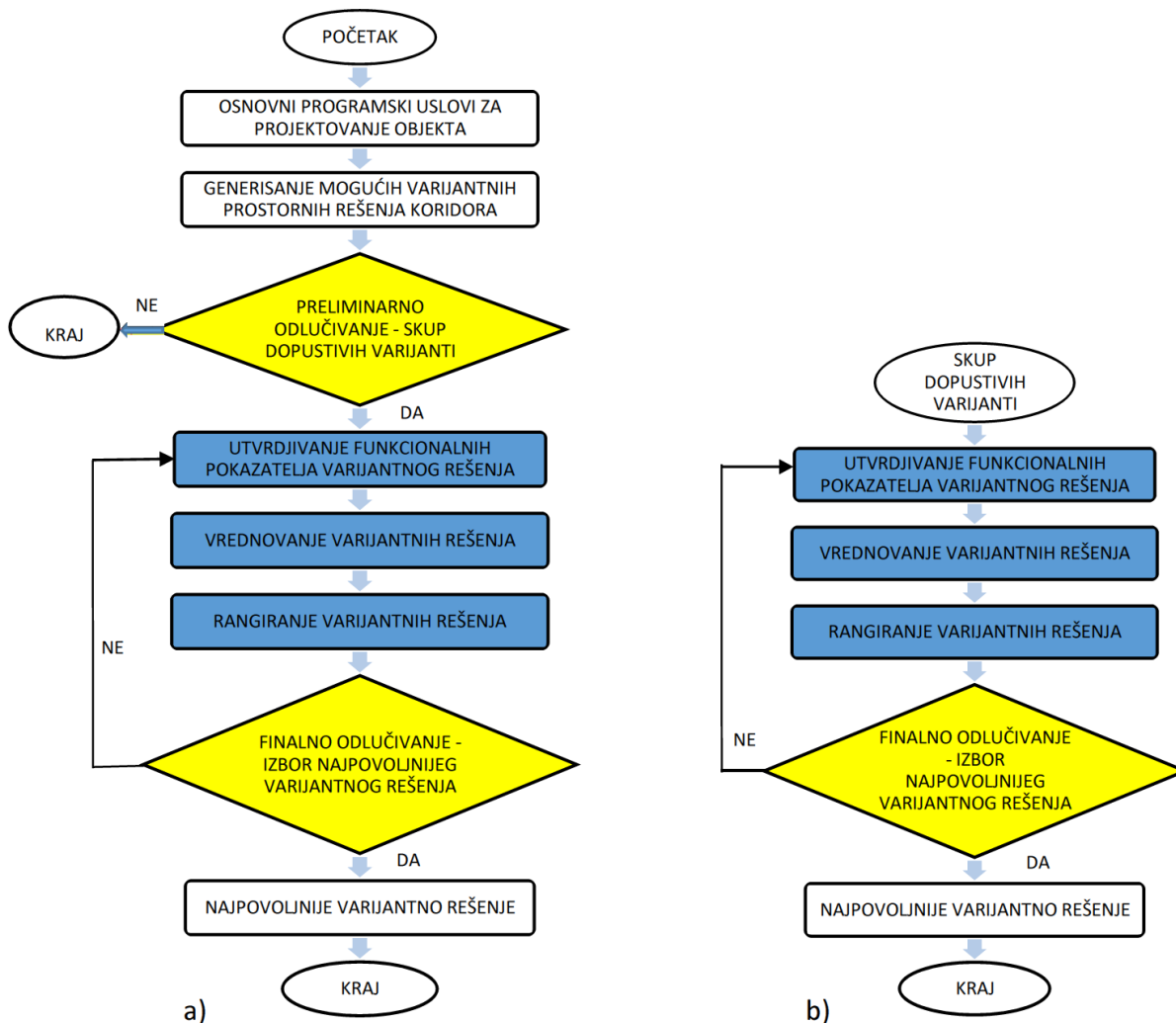
### 5.2.1 Konceptija novog optimizacionog modela 3N-AHP

Proces planiranja i projektovanja linijskih infrastrukturnih objekata, pa tako i odabir optimalne alternative prostornog rešenja, je izuzetno složen. Zato se on ne može kvalitetno i potpuno opisati samo jednim matematičkim modelom, nego se za svaki pojedini deo toga procesa formira zaseban matematički model. Tako se, celi taj proces (Slika 5.2a), može podeliti na tri osnovna dela:

- odredjivanje alternativa,
- vrednovanje i rangiranje alternativa (Slika 5.2b) i
- donošenje odluke o najpovoljnijem (optimalnom) rešenju.

Izbor optimizacione metode zavisi od prirode problema (linearnost, kontinualnost, izvesnost, vreme itd.), broja kriterijuma, mogućnosti učešća donosioca odluke, zahtevane detaljnosti analize itd. Razlozi koji su proizveli potrebu za razvojem novog modela detaljno su navedeni u Tački 5.1.1.

Polazeći od ukazane potrebe za otklanjanjem nedostataka postojećih optimizacionih modela u ovoj oblasti, dekompozicijom prema nameni, [55], složenog modela kompletnog procesa projektovanja na nivou Generalnog projekta (Slika 5.2-a), te izdvajanjem podsistema koji ima namenu da vrednuje i rangira skup dopustivih varijanti (Slika 5.2-b) i iz njega odabere optimalno prostorno rešenje linijskog infrastrukturnog objekta, razvijen je novi optimizacioni model koji je prikazan algoritamski na Slici 5.3.



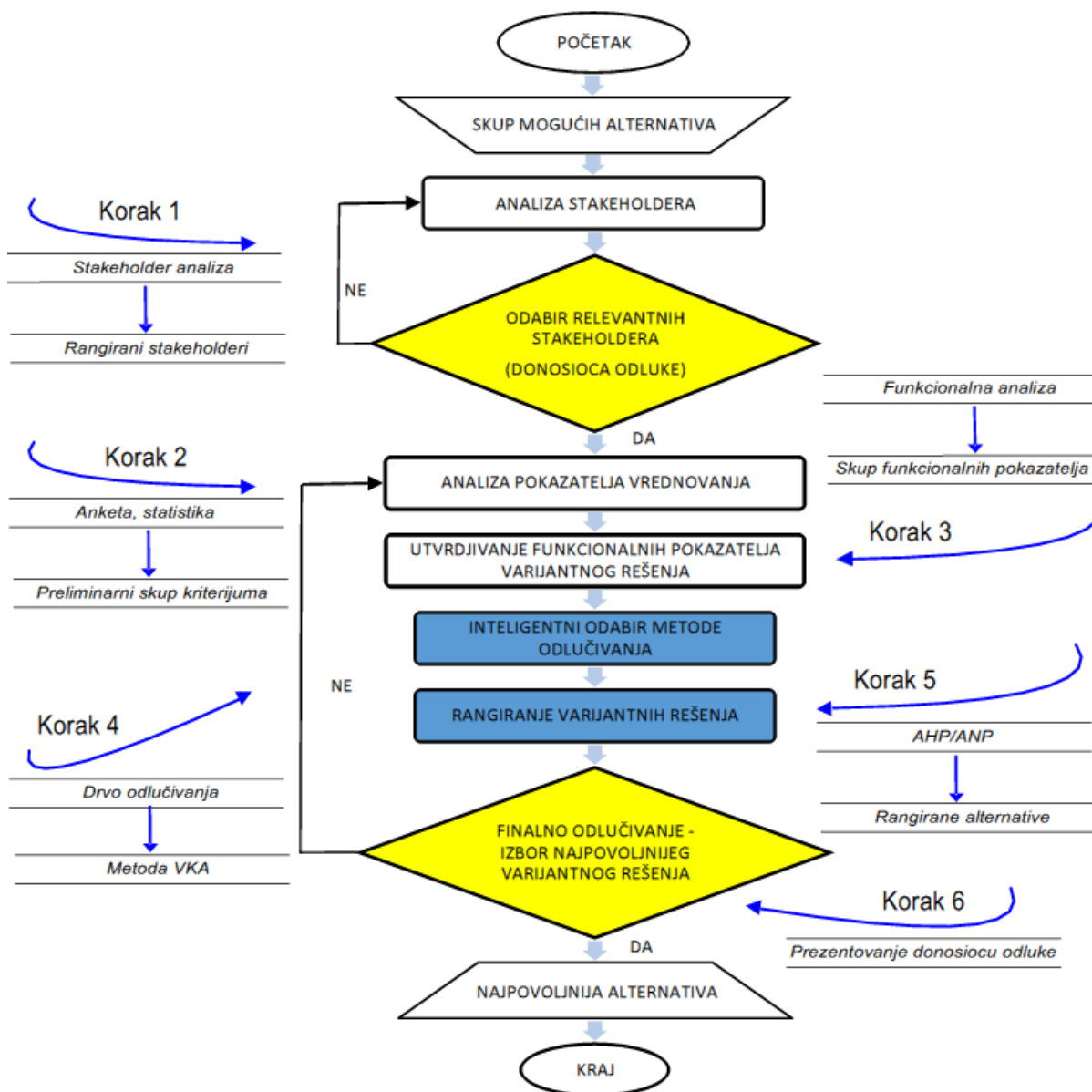
**Slika 5.2:** Algoritmi optimizacionog procesa projektovanja koridora infrastrukturnog objekta: a) iterativni model kompletnog procesa projektovanja; b) izdvojeni podsistem vrednovanja varijanti

Definisani model, kao i svaki drugi uostalom, ne obuhvata svu kompleksnost realnosti, već samo one osobine i delove koji su od interesa za konkretno proučavanje. Zbog kompleksnosti fizičke situacije u realnom sistemu, izdvajaju se samo značajne osobine fizičkih objekata. Prilikom modeliranja, optimizacije i korišćenja dobijenih rezultata treba se imati na umu sledeće, [55]:

- model je samo jedan od mogućih aproksimacija realnog sistema. Step en njegove detaljnosti zavisi od postavljenog zadatka i optimizacione metode koja se koristi. Model koji bi obuhvatao sve detalje kompleksnog sistema bio bi nezgrapan i praktično neupotrebljiv za optimizaciju,
- zadatak modela je da pomaže istraživaču, a ne da ga zameni, niti da ga oslobodi odgovornosti za donošenje odluka i

- model ne može da proizvede sasvim nove informacije o sistemu, ali omogućava da se na osnovu postojećih podataka bolje shvati sistem i njegovo ponašanje.

Predloženi model optimizacije je kompleksan i nastoji biti sveobuhvatan. Model se sastoji se od šest koraka koji su, u suštini, isto tako kompleksni kao i sam model. Model je simbolično nazvan 3N-AHP i ukazuje na to da se AHP metoda može primeniti na sva tri nivoa odlučivanja (strateški, taktički i tehnički). Složeni algoritam modela 3N-AHP dat je na Slici 5.3. Detaljno pojašnjenje pojedinačnih koraka daje se u tačkama koje slede.



**Slika 5.3:** Složeni (opšti) algoritam modela 3N-AHP za odabir optimalnog rešenja

### 5.2.1.1 Korak 1: Analiza i odabir relevantnih zainteresovanih aktera (učesnika)

Teorija odlučivanja definiše tri činioaca odlučivanja: donosioc odluke, analitičar odluke i stakeholderi. „Stakeholder“ (zainteresovani akter) je svaki pojedinac, grupa ljudi ili organizacija čiji se interes, potrebe i mišljenja trebaju uzeti u obzir prilikom donošenja neke odluke, bilo zato što će tom odlukom biti direktno pogodjeni ili zato što bi mogli imati uticaja na njenu realizaciju. Ovde spadaju i članovi javnosti koji još nisu svesni da će ih se određeni problemi doticati.



Učešće zainteresovani aktera se razlikuje od tradicionalnih javnih rasprava. Zainteresovani akteri, u principu, učestvuju dovoljno rano u procesu odlučivanja, da bi mogli uticati na politiku odluka onda kada se one i formulišu.

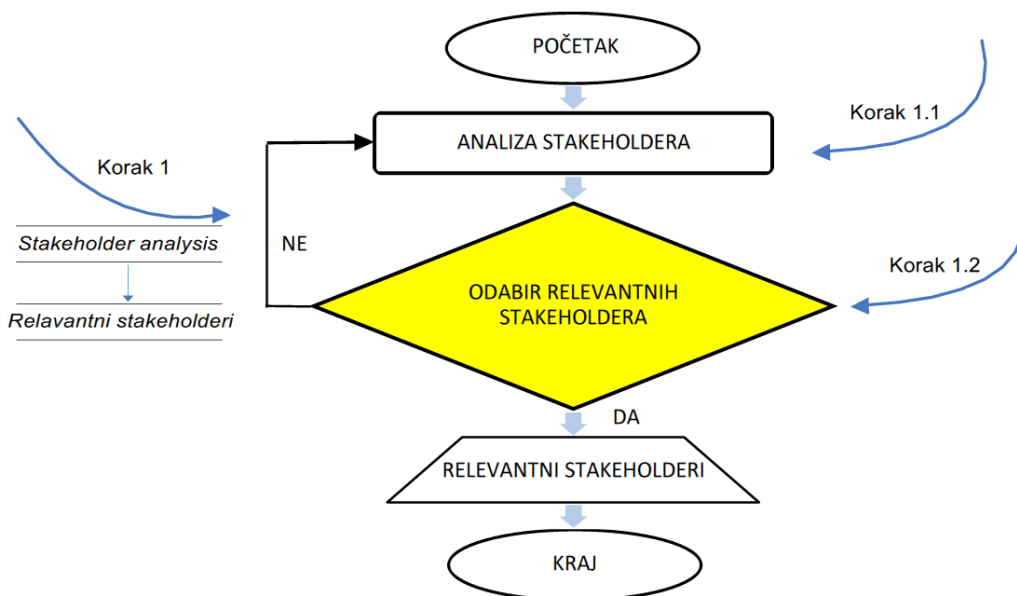
Učešće zainteresovanih aktera je od velikog značaja kod infrastrukturnih projekata. Razlog tome nisu samo pravila Evropske Unije koja zahtevaju učešće javnosti, već i zbog kompleksnosti realizacije infrastrukturnih projekata i činjenice da se infrastrukturni projekti finansiraju sredstvima iz državnog (ili lokalnih) budžeta, koja se ubiraju naplatom preza od gradjana. Pored toga, postoje još najmanje tri argumenta zbog kojih treba blagovremeno obezbediti učešće zainteresovanih aktera u procesu donošenja odluka. Ti argumenti su: moć pojedinih stakholdera da obstruiraju proces realizacije projekta, težnja za poboljšanjem procesa odlučivanja i težnja ka donošenju fer odluka.

Pojedini zainteresovani akteri imaju moć da obstruiraju proces realizacije projekta, odnosno, mogu ometati ili čak blokirati implementaciju donešenih odluka. Rano učešće takvih zainteresovanih aktera smanjuje rizik od nesprovodjenja odluka, te njihovo učešće postaje kontra mera obstrukciji. Takav izbor će, najverovatnije, usporiti sam proces u početnoj fazi, ali će ga svakako ubrzati u kasnijim fazama.

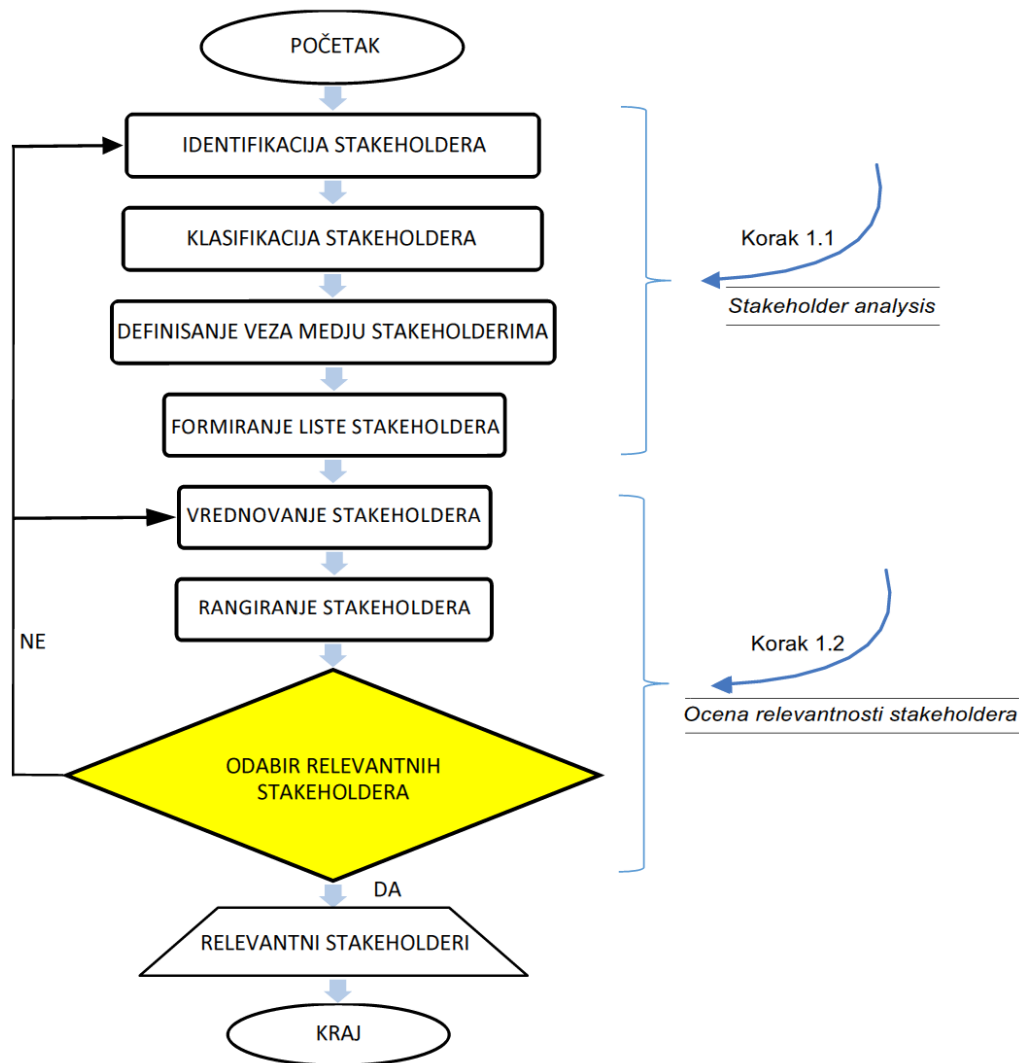
Donosioc odluke, koji je najčešće i vlasnik projekta, uglavnom ne poseduje sve resurse (na primer, znanja, informacije i dr.) potrebnih za donošenje kvalitetne odluke, već su ti resursi distribuirani kod nekoliko zainteresovanih aktera. Zato je poželjno sakupiti relevantne zainteresovane aktere, u cilju primene znanja i raspoloživih informacija u procesu donošenja odluka.

I na kraju, pošteno je uključiti sve učesnike koji deluju po određenoj politici čiji je cilj uspeh projekta i dati im pravo da iznesu svoje mišljenje u procesu odlučivanja.

Definisani model podrazumeva da se u prvom koraku provodjenja višekriterijumske analize varijantnih rešenja infrastrukturnih objekata izvrši analiza zainteresovanih aktera (Stakeholder analysis), a zatim odrede njihove važnosti. I ako algoritam ovog koraka ima samo dva potkoraka (Korak 1.1 i Korak 1.2), (Slika 5.4), njegovom dekompozicijom dobija se složeni model sa šest koraka (Slika 5.5), koji su takodje složeni.



**Slika 5.4:** Izdvojeni opšti algoritam Koraka 1



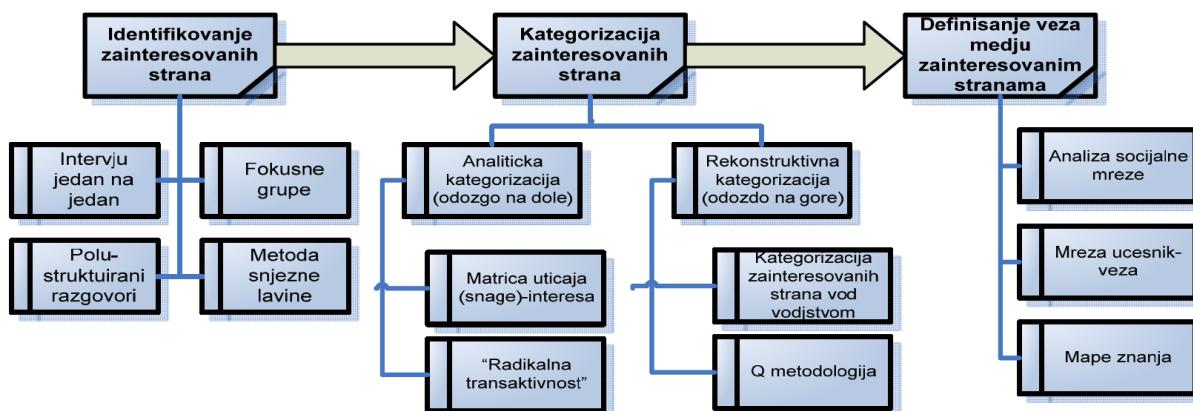
**Slika 5.5:** Razvijeni algoritam Koraka 1

#### 5.2.1.1.1 Korak 1.1: Analiza zainteresovanih aktera

Osnovno pitanje koje se postavlja je: ko su zainteresovani akteri i zašto treba da učestvuju u procesu donošenja odluka. Da bi se to saznalo neophodno je sprovesti analizu zainteresovanih aktera (Stakeholder Analysis). To je metoda sastavljanja lista svih zainteresovanih aktera koji imaju funkciju u izradi rešenje, odnosno, donošenja odluke o optimalnom rešenju.

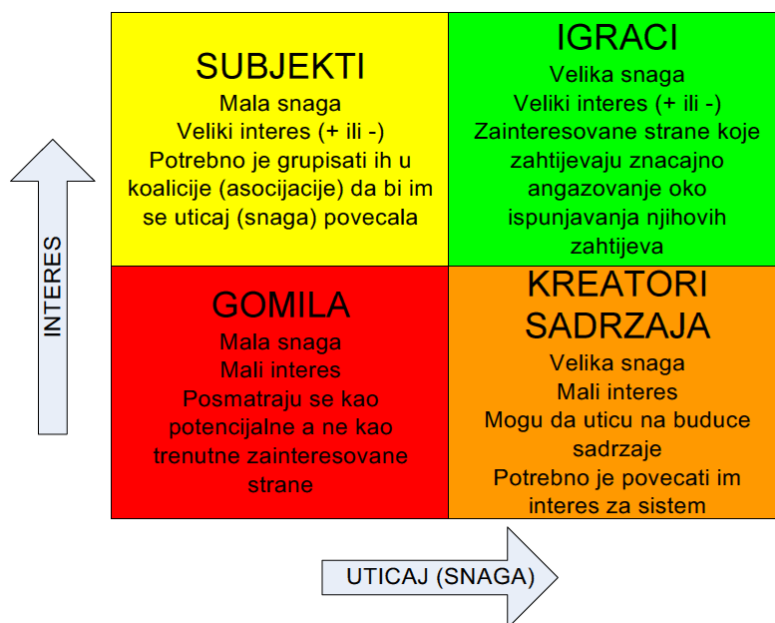
Zašto se provodi analiza zainteresovanih aktera? Iz razloga što nosioci projekta mogu i pre ulaska u sam projekat objektivno sagledati i proceniti eventualne izvore otpora ili podrške projektu. U tom smislu, lobiranje, sastanci sa predstavnicima pojedinih zainteresovanih grupa, aktivni odnosi sa javnošću i promocija pojedinih projekata od strane odredjenih aktera može svakako pomoći realizaciji projekta. Pored navedenog, analiza omogućava i identifikaciju potencijalnih konfliktnih tačaka, a može i pomoći u proceni izvodljivosti samog projekta ukoliko u nekom trenutku nosioc projekta postane svestan jačine otpora ili konflikta koji mu može nositi odredjena interesna grupa. Sama analiza, takodje, ukazuje i na sve potencijalne veze izmedju pojedinih ključnih zainteresovanih aktera kao i unutar njih samih, što daje celovitu sliku neophodnu za detaljno sagledavanje i razvoj poredničke filozofije u odnosu na odredjeni projekat.

Analiza zainteresovanih aktera započinje identifikacijom svih aktera koji su na bilo koji način vezani za problem u kojem se donosi odluka, te se na osnovu toga sačinjava preliminarna lista. Za identifikaciju aktera koriste se različite metode. Pregled metoda dat je na Slici 5.6. U drugom koraku vrši se klasifikacija identifikovanih aktera, koju je moguće izvršiti po više osnova.



Slika 5.6: Struktura metodološkog okvira analize zainteresovanih aktera

Jedna od standardnih, često korišćenih metoda za kategorizaciju zainteresovanih aktera je Matrica uticaja (snage) – interesa. To je metoda kojom se zainteresovani akteri smeštaju u matricu, gde je položaj zainteresovanog aktera u matrici određen njegovim interesom (snagom) i uticajem. Prednost ove metode je u tome što se nakon analize može posvetiti više pažnje zahtevima određenih zainteresovanih aktera i to onima koje imaju veći uticaj (snagu). Nedostatak metode je taj što se određene grupe zainteresovanih aktera mogu marginalizovati i što njihovo vrednovanje ne prati i njihovo rangiranje, odnosno, njihovi su uticaji mereni kvalitativno, ali ne i kvantitativno. Primer matrice sa opisom karakterističnih kvadranta prikazan je na Slici 5.7.



Slika 5.7: Matrica uticaja (snage) – interesa zainteresovanih aktera

Metodom Matrice uticaja – interesa, na osnovu identifikovanih uticaja i interesa, svakom od zainteresovanih aktera dodeljuje odgovarajuće mesto u određenom kvadrantu matrice.

Zainteresovani akteri čija je pozicija unutar kvadranta „gomila“, zbog svoje zanemarive snage i uticaja, ne uzimaju se u dalja razmatranja.

Sistemsom analizom, kao metodom analitičkog proučavanja sistema, definisane su četiri osnovne grupe zainteresovanih aktera (stakeholdera) u svakom sistemu: vlasnici sistema (System Owners), projektanti sistema (System Designers), graditelji sistema (System Builders) i korisnici sistema (System Users). Usvajajući ovakav način grupisanja aktera kao polaznu osnovu, neophodno je svakog od zainteresovanih aktera, na osnovu njegove uloge, pogleda, perspektiva, potreba ili interesa svrstati u jednu od ove četiri grupe.

Treći korak je najsloženiji jer se pod pojmom „veza“ ovde podrazumeva utvrđivanje njihovih interesa i ciljeva, kao i njihovim međusobnih veza i veza sa samim problemom koji se rešava. Korišćenjem analiza socijalne mreže, mreže učesnika, mape znanja i drugih tehnika, definišu se veze medju akterima. Ovaj korak je neophodan da bi se razumeli odredjeni stavovi i akcije zainteresovanih aktera. Uvek je poželjno, a najčešće i korisno, vizualizovati veze izmedju zainteresovanih aktera i identifikovati ih kao pozitivne ili negativne. Čineći njihove veze transparentnim, moguće je ograničiti negativne i iskoristiti pozitivne u cilju poboljšanja kvaliteta samog procesa.

#### **5.2.1.1.2 Korak 1.2: Odabir relevantnih (ključnih) zainteresovanih aktera**

Drugi potkorak *Koraka 1* složenog modela za odabir optimalnog rešenja infrastrukturnog objekta jeste odabir relevantnih (ključnih) zainteresovanih aktera, odnosno, vrednovanje i rangiranje zainteresovanih aktera sa liste sačinjene u predhodnom koraku, te na osnovu toga izdvojanje ključne medju njima. Ključni akteri su svi oni koji mogu dati koristan i značajan doprinos procesu odlučivanja. Mnogi autori, analizirajući stvarne uticaje pojedinih aktera, slažu se u mišljenju da, u koliko uticaj nekog od aktera ne prelazi 3% globalnog uticaja, taj se akter ne smatra relevantnim, odnosno, ključnim.

Postoji više metoda kojima se vrednuju i rangiraju uticaji zainteresovanih aktera.

U okviru definisanog složenog modela za vrednovanje i rangiranje (odnosno, odabir) preferirana je metoda Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), iz razloga navedenih u Tački 4.3.1.4. Kod većine modela višekriterijumskog odlučivanja (analize) za sprovođenje *Koraka 1.2*, kao potkoraka *Koraka 1*, neophodno bi bilo koristiti veći broj metoda. Budući da AHP metoda u sebi integriše i vrednovanje i rangiranje alternativa, primenom metode AHP, ovaj korak se sprovodi veoma jedinstveno, odnosno, primenom samo jedne metode.

Vrednovanje i rangiranje zainteresovanih aktera, i to samo onih koji su prema formiranoj Matrici uticaja – interesa pozicionirani u preostala tri kvadranta, vrši se metodom AHP. Matematičke i metodološke osnove AHP metode date su u Tački 4.3, te stoga ovde neće ponovo biti pojašnjavane. Način sprovođenja AHP metode za odabir relevantnih zainteresovanih aktera je sledeći: prema metodologiji AHP-a, u prvom koraku se razvija (formira) hijerarhijska struktura sa ciljem na vrhu, kriterijumima (i podkriterijumima) u sredini i alternativama na dnu hijerarhije. U ovom slučaju, cilj je definisan kao „utvrđivanje relevantnosti zainteresovanih aktera kao donosioca odluke“, alternative su svi zainteresovani akteri pozicionirani van kvadranta „gomila“ u Matrici uticaja-interesa. Za kriterijume su odabrani atributi koji odslikavaju identifikovane ciljevi, interese i međusobne veze zainteresovanih aktera. Kriterijumi su sledeći: spremnost i motivacija (interes) za uspeh

projekta, uticaj na pozitivan ishod projekta, nivo znanja, spremnost na promene, potrebe za informacijama, [34].

Vrednovanje se vrši grupno, gde učestvuju moderator i svi odabrani (reprezentativni) zainteresovani akteri. Kao krajnji rezultat dobiće se procentualno izražena važnost pojedinih zainteresovanih aktera za donošenje odluke, jer je postavljeni cilj vrednovanja i bio „utvrđivanje relevantnosti zainteresovanih aktera kao donosioca odluke“ u procesu odabira optimalnog rešenja koridora.

#### **5.2.1.2 Korak 2: Analiza pokazatelja vrednovanja (kriterijuma i podkriterijuma)**

Kriterijumi i podkriterijumi su mere performansi na osnovu kojih će se donositi odluka o najboljoj alternativi. „Dodata vrednost“ koju sa sobom donosi VKA, u mnogome i potiče od činjenice da je zasnovana na jasno utvrđenom skupu kriterijuma. Odatle i potiče potreba da kriterijumi, pre svega, moraju biti operacionalni, odnosno, koristiti samoj VKA.

Merenje i vrednovanje alternativa treba da pokaže koliko su kriterijumi dobro definisali sve mogućnosti postizanja zadatog cilja. S toga je u praksi veoma bitno pitanje: da li je na osnovu zadatih kriterijuma stvarno moguće meriti i vrednovati koliko pojedina alternativa doprinosi funkciji cilja?

Postojeća istraživanja kriterijuma za izbor optimalnog rešenja koridora infrastrukturnih objekata uglavnom se bave izdvajanjem nekoliko pokazatelja i određivanjem intenziteta njihovog uticaja. Zatim se varijantna rešenja poredi prema ovim pokazateljima i usvaja se rešenje sa najboljim ocenama. Ovo je osnovna ideja u brojnim značajnim istraživanjima koja su na taj način realizovana. Dakako, veoma je teško napraviti univerzalni model (model koji bi odgovarao velikom broju infrastrukturnih sistema) za definisanje relativnog značaja kriterijuma pri izboru optimalnog rešenja. Postavlja se pitanje promenljivosti značaja pojedinih kriterijuma u zavisnosti od brojnih osobina infrastrukturnog sistema. Nadalje, ako se uzme u obzir i to da je infrastrukturni sistem po svojoj prirodi dinamički sistem u kome se neprestano dešavaju brojne promene, kao i promene u njegovom okruženju, onda se postavlja pitanje promenljivosti značaja pojedinih kriterijuma u vremenu, za jedan te isti sistem.

Kriterijumi vrednovanja koridora infrastrukturnih linijskih objekata proizilaze iz ciljeva postojanja infrastrukturnih sistema, kao i specifičnih ciljeva izgradnje infrastrukturnih objekata koji čine sistem.

Kao što je već navedeno, s kriterijumima se celovito i sveobuhvatno modeliraju karakteristike problema, te se dodeljivanjem adekvatnih težina numerički iskazuju preferencije donosioca odluke. Kriterijumi ujedno predstavljaju i meru onih karakteristika sistema (na primer, ekonomičnost, efikasnost, puni kapacitet, funkcionalnosti, itd.) koje se žele optimizovati kako bi se zadovoljili postavljeni ciljevi.

Američki autori koji su obradivali probleme primene višekriterijumske analize za vrednovanje investicionih (samim tim i infrastrukturnih) projekata, obično su razvrstavali kriterijume u četiri grupe, i to:

- ekonomski,
- tehničko-tehnološki,

- društveno-politički i
- ekološki ili alternativno kriterijumi sigurnosti.

Navedenim grupama kriterijuma dodeljivali bi po 25% vrednosti sume težina, a unutar grupe za raspodele težina pojedinim kriterijumima koristili bi se najčešće anketom ekspertskih timova.

Evropski autori su ukazivali na potrebu dodjeljivanja većih težina grupi ekoloških kriterijuma, te kriterijumima koji su se odnosili na legislativu i pravnu regulativu.

Kao što je istaknuto u Tački 4.2.3.1.2, određeni broj elemenata skupa preliminarnih kriterijuma, identifikuje se na osnovu fizičkih, funkcionalnih i drugih karakteristika objekta (ili sistema) koji je predmet razmatranja. U okviru definisanog modela, s obzirom da se preferira njegova primena na sve linijske infrastrukturne objekte, ovaj deo skupa preliminarnih kriterijuma definiše se na početku procesa derivacije kriterijuma.

Drugi deo preliminarnih kriterijuma se definiše na osnovu istraživanja (naučnih i praktičnih) i analize literature koja tretira datu oblast. Piantanakulchai, [57], daje najsažetiji pregled kriterijuma (koji su na osnovu njegovog istraživanja potvrđeni kao relevantni) koji se odnose na odabir optimalnog rešenja koridora auto puta.

Treći deo skupa preliminarnih kriterijuma u definisanom modelu identifikovan je na osnovu ranijih iskustava na sličnim projektima, gde su ti kriterijumi dokazali svoju relevantnost. Na osnovu dugogodišnjeg iskustva, jedna od najrenomiranijih projektnih organizacija u Srbiji, Saobraćajni inisitut CIP, u nizu studija koje je izradio (na primer, [74] i [75]), definisao je skup atributa (kriterijuma, podkriterijuma, pokazatelja) za vrednovanje varijantnih rešenja koridora saobraćajnica.

Kombinacijom ova tri pristupa, dobija se najveći broj elemenata skupa preliminarnih kriterijuma za vrednovanje varijantnih rešenja koridora infrastrukturnih objekata.

Četvrti, i poslednji, deo skupa preliminarnih kriterijuma definiše se na osnovu izraženih potreba, očekivanja, interesa i bojazni od strane zainteresovanih aktera (stakeholdera) putem ankete ili intervjua. Detaljnije se o ovome govori u Tački 5.2.1.3.

Kako je istaknuto u Tački 2.6, koridori gotovo svih infrastrukturnih linijskih objekata imaju mnogo zajedničkih osobina koje su preslikane u kriterijume, pa se s toga većina kriterijuma koji opisuju koridor jednog linijskog objekta mogu koristiti kao skup preliminarnih kriterijuma za koridor nekog drugog i drugačijeg linijskog objekta. Razlog tome je i činjenica da se relevantnost kriterijuma iz preliminarnog skupa ocenjuje u sledećem koraku, *Koraku 3*, složenog modela 3N-AHP, definisanog u ovom radu.

### **5.2.1.3 Korak 3: Utvrđivanje relevantnih pokazatelja (kriterijuma i podkriterijuma)**

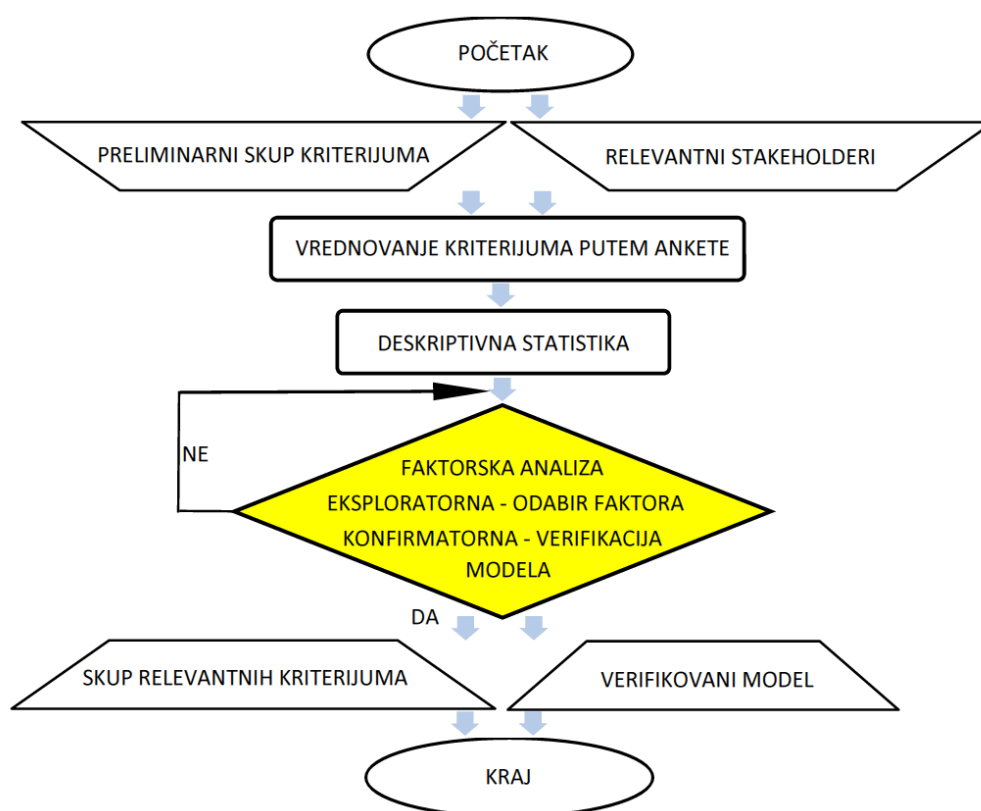
U postupku utvrđivanja relevantnih pokazatelja, *Korak 3* definisanog modela 3N-AHP predviđa primenu kombinovane metode istraživanja koja bi obuhvatila sledeće metode:

- anketu, kojom se prikupljaju podaci od relevantnih zainteresovanih aktera,
- deskriptivnu statistiku, za obradu prikupljenih podataka i

- faktorsku analizu, za redukovanje skupa podataka prikupljenih anketom, te definisanje skupa relevantnih kriterijuma potrebnih za razvoj AHP modela vrednovanja i rangiranja varijanti koridora infrastrukturnog objekta.

Primenom kombinovane metode u *Koraku 3*, čiji je algoritam dat na Slici 5.8, integrišu se znanje, veštine i preferencije relevantnih zainteresovanih aktera, te njihovim izražavanjem kroz vrednovanje kriterijuma putem zatvorene ankete od strane istih, pomaže se donosiocu odluke da bolje razume sam sistem, a time i daje doprinos donošenju kvalitetnije odluke koja će biti po meri svih (ili ogromne većine) zainteresovanih aktera.

**Anketa:** Metodom ankete, kao jednom od najčešće korišćenih metoda za prikupljanje podataka u društvenim istraživanjima, grupama relevantnih zainteresovanih aktera (odnosno, njihovim relevantnim predstavnicima, čija je optimalana veličina  $5 \pm 2$  člana) šalje se anketni upitnik. Na bazi njihovih pisanih odgovora istražuju se i prikupljaju podaci, informacije, stavovi i mišljenja o relevantnosti kriterijuma zadatih u preliminarnom skupu.



**Slika 5.8:** Razvijeni algoritam Koraka 3

Anketni upitnik sastoji se od nekoliko osnovnih elemenata: uvoda u anketu, upitnika (pitanja) i uputstva ispitanicima. S obzirom da se radi o vrednovanju unapred zadatih kriterijum gde ispitanici treba da daju samo preferencije važnosti, ispitanicima se šalje zatvoreni tip anketnog upitnika, odnosno, sa već ponudjenim odgovorima u vidu intenziteta važnosti (optimalno je 5 intenziteta).

Anketiranje se može provesti na više načina: lično (direktno), putem pošte ili elektronske pošte, a s obzirom na istovremeni obuhvat: individualno ili grupno.

**Deskriptivna statistika:** Ovom se metodom opisuju, upoređuju i analiziraju masovne pojave osnovnih prikaza i brojčane obrade poznatih podataka. Pri tome je masovna pojava statistički skup istorodnih elemenata, odnosno, onih elemenata koji imaju iste karakteristike.

Statistički skup je definisan pojmovno, prostorno i vremenski. Statističke karakteristike su opšta svojstva elemenata statističkog skupa po kojima se elementi definišu kao istorodni ili se po njima razlikuju. Opisne karakteristike se izražavaju rečima, redosledne rangom, numeričke brojem, a vremenske trenutkom, [82].

Najčešće nije moguće izmeriti sve vrednosti posmatrane statističke karakteristike, pa se iz populacije odabira reprezentativni uzorak. Cilj statističke analize skupova uzorkovanih podataka je, da se na osnovu podataka iz uzoraka donesu određeni zaključci o populacijskoj distribuciji posmatrane statističke karakteristike, pri čemu se koriste i metode deskriptivne statistike i metode inferencijalne statistike.

Razlikuju se dve osnovne vrste varijabli: numeričke i kategorijalne. Numeričke varijable se dele na diskretne i kontinuirane (neprekidne). Kategorijalne varijable mogu biti: dihotomne – imaju samo dva razreda (na primer, odgovori da/ne), nominalne – kategorije su neuredjene, te ordinalne – vrednosti su im uredjene.

Za merenje centralnih tendencija skupova podataka, koriste se aritmetička sredina, medijan i mod. Važno svojstvo distribucije podataka je i njihova disperzija. Mere disperzije su: standardna devijacija, varijacija, koeficijent varijacije i raspon.

**Faktorska analiza:** Opis medjusobne zavisnosti velikog broja promenljivih korišćenjem manjeg broja osnovnih, ali neopažljivih slučajnih promenljivih poznatih kao faktori, metodom višedimenzionalne (multivarijacione) analize, naziva se faktorska analiza.

Opšta svrha faktorsko-analitičkih tehnika je pronalaženje načina da se sažmu informacije sadržane u velikom broju originalnih promenljivih, u manji skup novih, kompozitnih dimenzija ili varijanti (faktora), uz minimalni gubitak informacija.

Faktorska analiza kao skup statističko-matematičkih postupaka pogodnih za analizu podataka o medjusobnoj povezanosti analiziranih pojavama, pokazala se korisnom u svim situacijama gde se u istraživanjima istovremeno pojavljuje veći broj varijabli koje su u medjusobnim korelacijama i gde se zahteva utvrđivanje osnovnih izvora kovarijacije među podacima. Kod korelativne povezanosti pojava, promene u jednoj i u drugoj pojavi mogu se javljati paralelno, a da jedne nisu uzrok drugima, za razliku od uzročno-posledične povezanosti u kojoj je jedna pojava ili događaj uzrok nastajanja ili javljanja neke druge pojave, događaja ili promene.

Faktorska analiza omogućava izračunavanje koeficijenta korelacije ili koeficijenta asocijacije između varijabli. Varijablama se smatraju podaci dobijeni merenjem promena na pojavama koje se analiziraju i proučavaju. Ukoliko su analizirane pojave medjusobno povezane, onda se može utvrditi veličina korelacije svake analizirane pojave medjusobno. To znači da će se kao rezultat takve analize dobiti simetrična matrica sa brojnim koeficijentima korelacije. Broj takvih koeficijenata korelacije je  $n(n-1)/2$  gde je  $n$  broj varijabli. Koeficijenti korelacije pokazuju da su proučavane pojave u vezi te da su veze između nekih slabije, odnosno, jače.

Faktorska analiza omogućava i dublje prodiranje u medjusobne zavisnosti i odnose između pojava, te preko skupa matematičko-statističkih postupaka omogućava da se u većem broju varijabli, među kojima postoji povezanost, utvrdi manji broj osnovnih varijabli koje objašnjavaju takvu medjusobnu povezanost. Te osnovne varijable se zovu faktori. Varijable



koje se analiziraju u faktorskoj analizi se zovu manifestne varijable, a faktori koji se utvrđuju na osnovu međusobnih odnosa manifestnih varijabli se zovu latentne varijable.

Prema tome, osnovni cilj faktorske analize je da se, umesto velikog broja međusobno povezanih i zavisnih manifestnih varijabli koje su rezultirale iz nekog istraživanja, utvrdi manji broj međusobno nezavisnih latentnih varijabli koje mogu objasniti međusobne odnose manifestnih varijabli.

Postoje dve osnovne strategije korišćenja faktorske analize: eksploratorna i konfirmatorna faktorska analiza. Eksploratorna faktorska analiza utvrđuje osnovne faktore ili izvore varijacija i kovarijacija medju analiziranim varijablama, a konfirmatornom faktorskom analizom se provodi objektivan test određenog strukturalnog modela ili teorije. Istraživač polazi od unapred formulisanog modela, hipoteze ili teorije o strukturi osnovnih izvora varijacije i kovarijacije medju analiziranim varijablama i testira taj model, hipotezu ili teoriju. Za potrebe ovog istraživanja je korišćena metoda konfirmatorne faktorske analize. Pod pojmom varijabla ovde se podrazumeva kriterijum, podkriterijum ili pokazatelj.

Proces odlučivanja u faktorskoj analizi sastoji se od šest faza, plus dodatna faza (faza 7):

- definisanje ciljeva faktorske analize,
- dizajniranje faktorske analize,
- pretpostavke u faktorskoj analizi,
- izvodjenje faktora i procenjivanje opšteg uklapanja,
- interpretiranje faktora,
- potvrda faktorske analize i
- dodatne upotrebe rezultata faktorske analize.

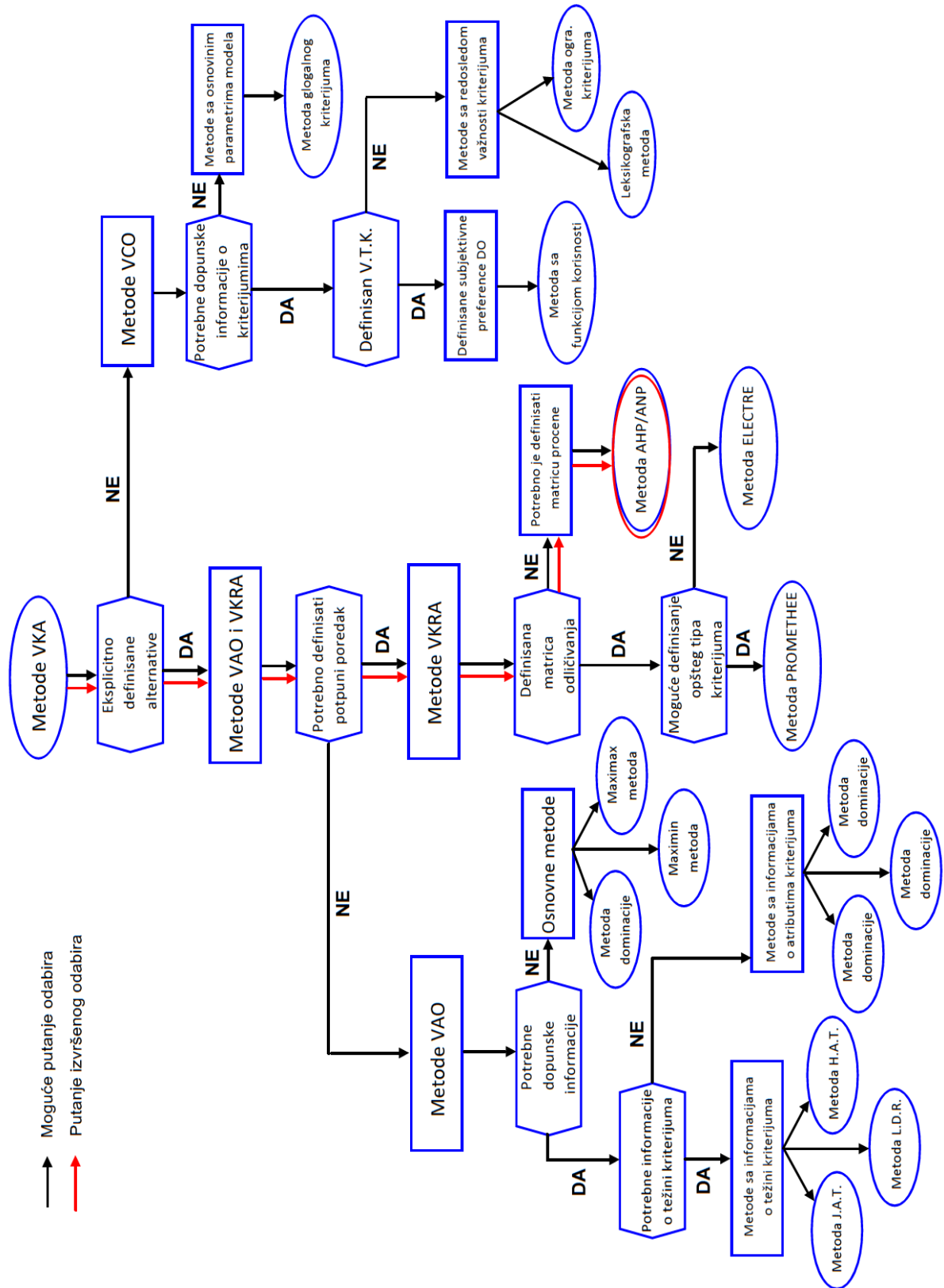
Rezultat sprovođenja *Koraka 3* jeste skup relevantnih kriterijuma (faktora) kao i verifikacija (ili eventualno opovrgavanje) definisanog modela. Za sprovođenje faktorske analize postoje brojna software-ska rešenja. Jedan od najboljih statističkih software-a je IBM-ov SPSS Statistics, koji je i korišćen za sprovođenje *Koraka 3*.

#### **5.2.1.4 Korak 4: Odabir metode odlučivanja**

Drvo odlučivanja (Decision Tree) je grafički prezentirana tehnika za donošenje odluke, pod kojom se podrazumeva skup povezanih grana, gde svaka grana predstavlja ili alternativu odlučivanja ili stanje. Po uobičajenoj konvenciji, čvor iskazan kvadratom predstavlja alternativu odlučivanja (čvor odlučivanja), a kružić predstavlja stanje (čvor mogućnosti).

Na osnovu karakteristika svake metode VKA ponaosob, formirano je drvo odlučivanja za odabir odgovarajuće metode prilikom rešavanja određenog višekriterijumskog problema. Na Slici 5.9 prikazano je drvo odlučivanja i pomoću njega, u skladu sa karakteristikama problema koji se rešava, izvršen je odabir VKA metode.

S obrom da predloženi model odabira optimalne varijante koridora linijskih infrastrukturnih objekata podrazumeva da su one eksplicitno definisane, te da je potrebno definisati njihov potpuni poredak, pri čemu nije definisana matrica odlučivanja, već to tek treba uraditi tokom procesa odlučivanja, uz pomoć drveta odlučivanja došlo se do odabira metode AHP. Na Slici 5.9 crvenim stralicama je označena putanja odabira.



Slika 5.9: Korak 4 - odabir metode odlučivanja pomoću drveta odlučivanja

### 5.2.1.5 Korak 5: Vrednovanje i rangiranje alternativa (AHP metoda)

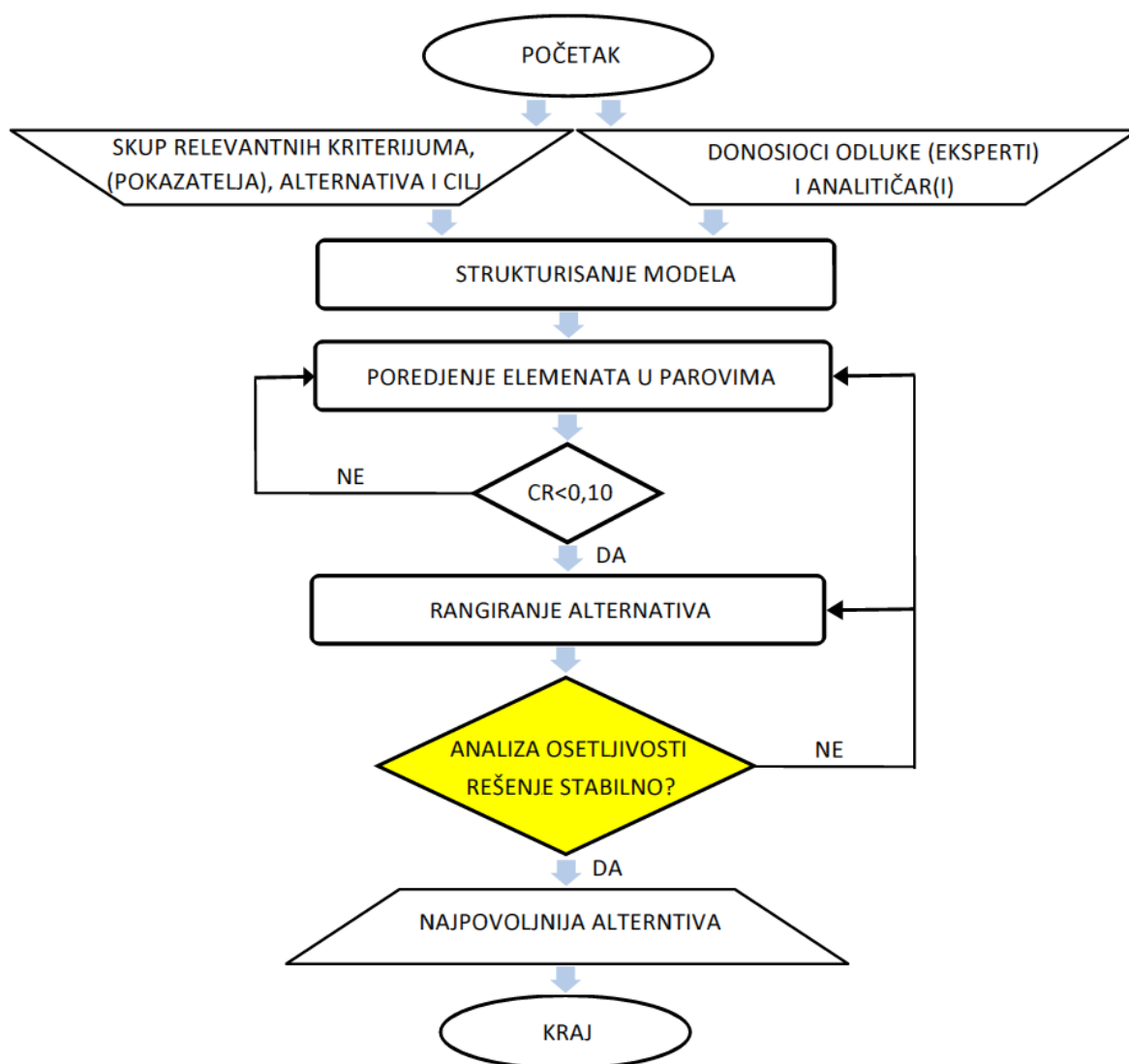
AHP je relativno često korišćena metoda u problemima odlučivanja sa većim brojem kriterijuma i alternativa, ali vrlo malo korišćena u procesu odabira optimalnog rešenja linijskih infrastrukturnih objekata. Funkcionalnim mapiranjem različitih aspekata i mogućih rešenja u elemente odlučivanja unutar hijerarhijske strukture kakvu zahteva AHP, čak i vrlo

zahtevni problemi mogu se relativno jednostavno rešiti za kratko vreme, ako se poštuju principi i metodologija AHP.

Popularnost metode AHP u svetu potiče pre svega iz njenog fundamentalnog kvaliteta: „uvek u parovima porediti samo dva elementa odlučivanja i pri tome koristiti jednostavnu semantičku skalu sa samo pet osnovnih stepena gradacije važnosti (jednako, malo važnije, mnogo važnije, vrlo mnogo važnije, apsolutno važnije)“ umesto uporedjivanja s nekom standardnom mernom jedinicom (kg, sec, m). Na taj način, metoda je približena čoveku koga u suštini ne mora uopšte zanimati „matematika“ na kojoj je AHP naučno zasnovana i priznata.

Odlučivanje AHP metodom se odvija u četiri osnovna koraka (Slika 5.10):

- Korak 5.1: Strukturisanje problema (razvijanje hijerarhijskog modela),
- Korak 5.2: Uporedjivanje elemeta istog nivoa u parovima,
- Korak 5.3: Odredjivanje konačnog rešenja i
- Korak 5.4: Analiza osetljivosti rešenja.



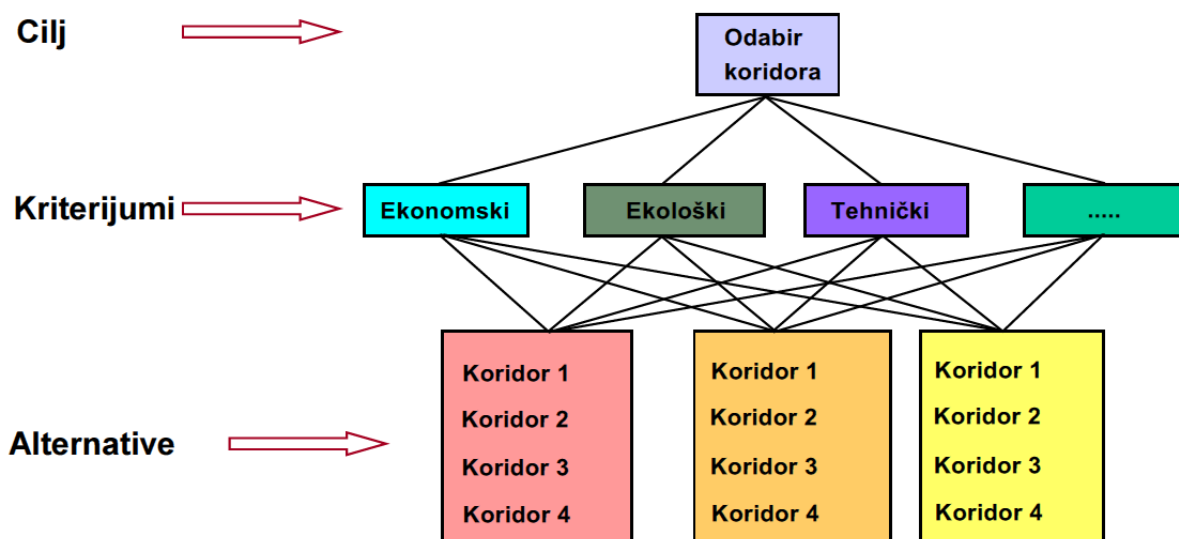
Slika 5.10: Razvijeni algoritam Koraka 5

### Korak 5.1: Strukturisanje problema (razvijanje hijerarhijskog modela)

U AHP-u, pod strukturisanjem problema podrazumeva se formiranje hijerarhije sa cljem na vrhu, nivo „0“, kriterijumima na nivou „1“, ako postoje podkriterijumi i pokazatelji, oni se raspoređuju na nivo „2“, „3“, ..., „n-1“. Na nivou „n“, odnosno, na dnu hijerarhije nalaze se alternative. Hijerarhija se formira od strane analitičara, koji može biti i donosioc odluke.

Kako je kod razmatranog problema cilj „odabir optimalne („najbolje“) varijante koridora“, on će se nalaziti na samom vrhu. Na novu „1“ (i nižim nivoima), nalaziće se kriterijumi (i podrkriterijumi) koji se identifikuju u *Koraku 2* 3N-AHP modela (opisano u Tački 5.2.1.3), a čija je relevantnost potvrđena u *Koraku 3* (opisano u Tački 5.2.1.4). Na dnu hijerarhije nalaziće se alternative.

Na primeru koji sledi, na krajnje pojednostavljenom modelu za odabir optimalnog rešenja koridora, biće prikazan način provodjenja odlučivanja AHP metodom. Za te potrebe formirana je hijerarhija prikazana na Slici 5.11.



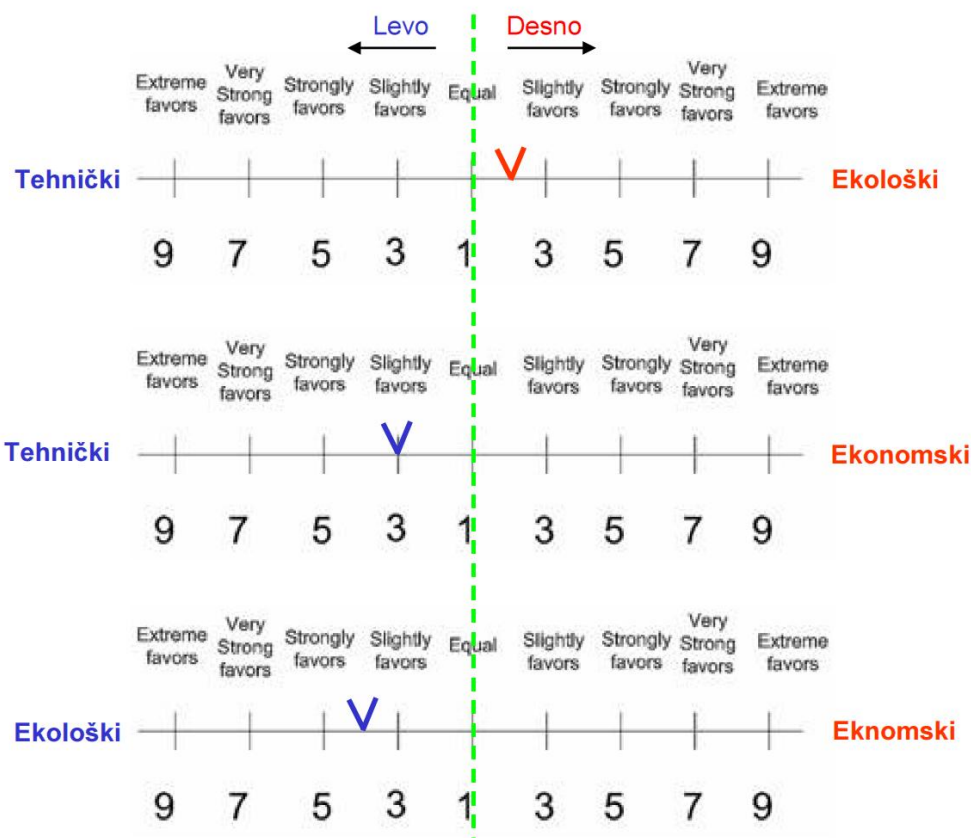
Slika 5.11: Hijerarhijska struktura odabira optimalnog koridora

### Korak 5.2: Poredjenje elemenata u parovima

Ova faza se odvija u sedam koraka. U prvom koraku, vrši se „poredjenje u parovima (pair-wise comparison) po važnosti“ kriterijuma u odnosu na definisani cilj, te poredjenje u parovima alternativa u odnosu na kriterijume (Slike 5.12), korišćenjem Saaty-ove skale (Tabela 4.2 u Tački 4.3.1.1). Prema spoznajama iz psihologije, ljudskoj je prirodi najlakše i najtačnije istovremeno upoređivanje i procenjivanje samo dve alternative. Prioritet koji jedna alternativa ima u odnosu na drugu izražava se opisnim vrednostima jednako, malo važnije, mnogo važnije, vrlo mnogo važnije, apsolutno važnije. Kada se izvrši poredjivanje svih kriterijuma medjusobno (u ovom slučaju 3 poredjenja), formira se matrica odlučivanja  $n \times n$ . Najpre se vrši poredjenje kriterijuma u parovima u odnosu na zadati cilj.

Poredjenje u parovima vrše donosioci odluke na ovom nivou. Donosioc odluke može biti pojedinac ili grupa. Prema izvršenoj stakeholder analizi (*Korak 1*), donosioci odluke na ovom nivou su eksperti iz oblasti koje obuhvata složeni problem i koji imaju komplementarna znanja.

Prilikom poredjenja iznos uporedjivanja se označava na skali levo ili desno, u zavisnosti kojem se kriterijumu daje veća važnost. Prilikom formiranja matrice odlučivanja, u koliko je iznos označen na levoj strani (Slika 5.12), kao element matrice upisuje se taj broj. U koliko je iznos na desnoj strani skale (Slika 5.12), kao element matrice upisuje se njegova recipročna vrednost.



Slika 5.12: Poredjenje kriterijuma u parovima Saaty-evom skalom

U ovom slučaju matrica odlučivanja izgleda ovako:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} Tehnički & Ekološki & Ekonomski \end{matrix} \\ \begin{matrix} Tehnički \\ Ekološki \\ Ekonomski \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1,00000 & 0,5000 & 3,0000 \\ 2,0000 & 1,0000 & 4,0000 \\ 0,3333 & 0,2500 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

U drugom koraku vrši se prvo množenje matrice samom sobom te se dobije matrica prve iteracije.

$$\begin{bmatrix} 1,000 & 0,500 & 3,000 \\ 2,000 & 1,000 & 4,000 \\ 0,333 & 0,250 & 1,000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1,000 & 0,500 & 3,000 \\ 2,000 & 1,000 & 4,000 \\ 0,333 & 0,250 & 1,000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,000 & 1,750 & 8,000 \\ 5,333 & 3,000 & 14,000 \\ 1,166 & 0,667 & 3,000 \end{bmatrix}$$

U trećem koraku se određuje 1.vektor prioriteta, tako što se najpre sumiraju (sabiraju) redovi matrice, a onda izvrši normalizacija suma redova.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 1,0000 + 0,5000 + 3,0000 \\ 2,0000 + 1,0000 + 4,0000 \\ 0,3333 + 0,2500 + 1,0000 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 12.7500 \\ 22.3332 \\ 4.8333 \end{bmatrix} \\ &= \underline{39.9165} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 12,7500 / 39,9165 &= 0,3194 & \begin{bmatrix} 0,3194 \\ 0,5595 \\ 0,1211 \end{bmatrix} \\ 22,3332 / 39,9165 &= 0,5595 & \rightarrow \\ 4,8333 / 39,9165 &= 0,1211 & \end{bmatrix} \end{aligned}$$

U četvrtom koraku se ponovo vrši množenje matrice odlučivanja (2.iteracija).

$$\begin{bmatrix} 3,000 & 1,750 & 8,000 \\ 5,333 & 3,000 & 14,000 \\ 1,166 & 0,667 & 3,000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 3,000 & 1,750 & 8,000 \\ 5,333 & 3,000 & 14,000 \\ 1,166 & 0,667 & 3,000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 27,665 & 15,833 & 72,498 \\ 48,331 & 27,666 & 126,664 \\ 10,555 & 6,041 & 27,665 \end{bmatrix}$$

U petom koraku se ponavlja redosled iz koraka 3, te se tako određuje 2.vektor prioriteta.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 27,6653 + 15,8330 + 72,4984 \\ 48,3311 + 27,6662 + 126,6642 \\ 10,5547 + 6,0414 + 27,6653 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 115.9967 \\ 202,6615 \\ 44,2614 \end{bmatrix} \\ &= \underline{362.9196} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 115.9967 / 362.9196 &= 0,3196 & \begin{bmatrix} 0,3196 \\ 0,5584 \\ 0,1220 \end{bmatrix} \\ 202,6615 / 362.9196 &= 0,5584 & \rightarrow \\ 44,2614 / 362.9196 &= 0,1220 & \end{bmatrix} \end{aligned}$$

U šestom koraku se vrši izračunavanje razlike vektora prioriteta.

$$\begin{bmatrix} 0,3194 \\ 0,5595 \\ 0,1211 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,3196 \\ 0,5584 \\ 0,1220 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0002 \\ 0,0011 \\ -0,0009 \end{bmatrix}$$

U koliko su iznosi razlike vektora mali, kao što je to ovde slučaj, prestaje potreba za daljim određivanjem vektora prioriteta. U koliko su iznosi razlike vektora značajni, ponavljaju se postupci iz koraka pet i šest, odnosno, vrši se treća iteracija i određuje treći vektor prioriteta sve dok iznosi razlike vektora prioriteta ne postanu dovoljno mali.

U sedmom, poslednjem koraku ove faze, određuje se najznačajniji kriterijum. U ovom slučaju to je kriterijum kolone 2, odnosno, Ekonomski kriterijum.

Zatim se isti postupak provodi upoređivanjem alternativa u parovima u odnosu na svaki kriterijum ponaosob. Ova se faza odvija na gotovo identičan način kao i prethodna. Razlika je u tome što se poredjenje alternativa u parovima vrši u odnosu na svaki kriterijum ponaosob, pa se umesto jedne matrice odlučivanja koja je bila formirana za kriterijume (jer postoji jedan cilj), formiraju dve matrice odlučivanja (matrica odlučivanja u odnosu na tehnički i matrica odlučivanja u odnosu ekološki kriterijum). S obzirom da AHP može kombinovati

kvalitativne i kvantitativne faktore, vektor prioriteta za Ekonomski kriterijum formiran je normalizacijom vrednosti pojedinačnih cena koštanja izgradnje koridora. Za druga dva kriterijuma, kao i u predhodnoj fazi, izvršeno je „poredjenje alternativa u parovima u odnosu na kriterijume“, te su se formirale matrice odlučivanja. U drugom koraku je izvršena prva iteracija, a u trećem određeni prvi vektori prioriteta. Zatim je izvršena 2.iteracija, određeni 2.vektori prioriteta te određeni vektori međusobnih razlika. Postupak je ponavljan sve dok iznosi razlika vektora prioriteta nisu postali dovoljno mali. Nakon toga su određene najznačajnije varijante, po jedna za svaki od navedenih kriterijuma. U ovom slučaju formirane su sledeće matrice odlučivanja:

$$A_1(\text{tehnički}) = \begin{array}{c} \text{Koridor1} \\ \text{Koridor2} \\ \text{Koridor3} \\ \text{Koridor4} \end{array} \begin{array}{cccc} \text{Koridor1} & \text{Koridor2} & \text{Koridor3} & \text{Koridor4} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 4 & 1/6 \\ 4 & 1 & 4 & 1/4 \\ 1/4 & 1/4 & 1 & 1/5 \\ 6 & 4 & 5 & 1 \end{bmatrix} & & & \end{array} = \begin{bmatrix} 1,0000 & 0,2500 & 4,0000 & 0,1667 \\ 4,0000 & 1,0000 & 4,0000 & 0,2500 \\ 0,2500 & 0,2500 & 1,0000 & 0,2000 \\ 6,0000 & 4,0000 & 5,0000 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

$$A_2(\text{ekološki}) = \begin{array}{c} \text{Koridor1} \\ \text{Koridor2} \\ \text{Koridor3} \\ \text{Koridor4} \end{array} \begin{array}{cccc} \text{Koridor1} & \text{Koridor2} & \text{Koridor3} & \text{Koridor4} \\ \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 & 1 \\ 1/2 & 1 & 3 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1/4 \\ 1 & 1/2 & 4 & 1 \end{bmatrix} & & & \end{array} = \begin{bmatrix} 1,0000 & 2,0000 & 5,0000 & 1,0000 \\ 0,5000 & 1,0000 & 3,0000 & 2,0000 \\ 0,2000 & 0,3333 & 1,0000 & 0,2500 \\ 1,0000 & 0,5000 & 4,0000 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

Nakon sprovedene prve i druge iteracije, te određivanja vektora prioriteta za svaku matricu odlučivanja ponaosob, utvrđeno je da su iznosi razlike vektora prioriteta dovoljno mali, te prestaje potreba za daljim iteracijama. Vektori prioriteta su sledeći:

$$\begin{array}{cc} \text{Tehnički kriterijum} & \text{Ekonomski kriterijum} \\ \begin{bmatrix} 0,1160 \\ 0,2470 \\ 0,0600 \\ 0,5770 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0,3790 \\ 0,2900 \\ 0,0740 \\ 0,2570 \end{bmatrix} \end{array}$$

Vektor prioriteta za Ekonomski kriterijum određen je na sledeći način:

$$\begin{array}{c} \text{Ekonomski kriterijum} \\ \text{(km/mil.eura)} \end{array} \begin{array}{c} \text{Koridor1} \\ \text{Koridor2} \\ \text{Koridor3} \\ \text{Koridor4} \end{array} \begin{array}{c} 1/23,10 \\ 1/29,10 \\ 1/32,80 \\ 1/28,04 \end{array} = \begin{array}{c} 0,0433 \\ 0,0343 \\ 0,0305 \\ 0,0357 \\ 0,1438 \end{array} \begin{array}{c} 0,0433 / 0,1438 = 0,3010 \\ 0,0343 / 0,1438 = 0,2390 \\ 0,0305 / 0,1438 = 0,2120 \\ 0,0357 / 0,1438 = 0,2480 \\ \text{Vektor uticaja} \end{array}$$

Ovde je nužno obratiti pažnju na koji se način interpretira kriterijum koštanja. Kako se teži minimiziranju troškova, sledi da nije najbolja ona alternativa čija je cena koštanja najveća po kilometru, već ona za koju će se izdvojiti najmanje novca za jedan kilometar. Da su elementi

vektora koštanja izgradnje postavljeni drugačije nego je u primeru navedeno, odnosno, da su se izrazili na uobičajen način, eura/km, u vektoru uticaja najveću vrednost bi se dobila za onu alternativu čiji je izgrađeni kilometar bio najskuplji, te bi se na osnovu toga donela pogrešna odluka. Interpretacijom kriterijuma na način dat u primeru, obezbedjeno je da u vektoru uticaja, najveću vrednost ima ona alternativa za čiji se 1 km izgradnje izdvaja najmanje novca.

Tokom sprovođenja ovog koraka, neophodno je stalno voditi računa o koeficijentu konzistentnosti donosioca odluke. Taj se koeficijent dobija nakon izračunavanja vektora prioriteta. Najpre se matrica odlučivanja formirana u prvom koraku pomnoži sa dobijenim vektorom prioriteta, te se na taj način dobije konstanta  $\lambda_{max}$ . Kada dobijenu konstantu uvrstimo u formulu za izračunavanje indeksa konzistencije  $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ , dobija se odnos (koeficijent) konzistencije  $CR = CI / RI$ , gde je  $RI$  slučajni indeks konzistencije.

Ako za matricu  $A$  važi da je  $CR \leq 0,10$ , procene relativnih važnosti kriterijuma (prioriteta alternativa) smatraju se prihvatljivim. U suprotnom, treba istražiti razloge zbog kojih je nekonzistentnost procena neprihvatljivo visoka.

U ovom slučaju indeks konzistencije za poredjenje kriterijuma izračunat je na sledeći način:

$$\begin{bmatrix} 1,000 & 0,500 & 3,000 \\ 2,000 & 1,000 & 4,000 \\ 0,333 & 0,250 & 1,000 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0,3196 \\ 0,5584 \\ 0,1220 \end{bmatrix}$$

Matrica odlučivanja 2. vektor prioriteta

$$\lambda_{max} = 3,3333 \cdot 0,3196 + 1,7500 \cdot 0,5584 + 8,0000 \cdot 0,1220 = 3,0185$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,0185 - 3}{3 - 1} = 0,00925$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,00925}{0,58} = 0,0159 = 1,59\% < 10\%$$

### Korak 5.3: Određivanje konačnog rešenja (cilja)

U ovoj se koraku, od vektora prioriteta alternativa po svakom kriterijumu ponaosob, formira matrica vektora prioriteta alternativa, tako što vektori prioriteta utvrđeni po svakom kriterijumu postaju njene kolone. Zatim se tako formirana matrica pomnoži vektorom prioriteta kriterijuma, te se na taj način dobije vektor prioriteta cilja. Element sa najvećim iznosom iz vektora prioriteta cilja upari se sa alternativnim rešenjem iz matrice vektora prioriteta, iz istog reda kojem maksimalni iznos pripada. Alternativa koja se nalazi u tom redu je najpovoljnija alternativa. U ovom slučaju to je Koridor 4.

	<i>Tehnički</i>	<i>Ekološki</i>	<i>Ekonomski</i>				
Koridor 1	0,1160	0,3790	0,3010	*	$\begin{bmatrix} 0,3196 \\ 0,5584 \\ 0,1220 \end{bmatrix}$	=	0,3060
Koridor 2	0,2470	0,2900	0,2390				0,2720
Koridor 3	0,0600	0,0740	0,2120				0,0940
Koridor 4	0,5770	0,2570	0,2480				0,3280



#### **Korak 5.4: Analiza osetljivosti rešenja**

Bitna karakteristika metode AHP jeste analiza osetljivosti konačnog rešenja. Ova se analiza jednostavno vrši pomoću programskih paketa (software-a) za podršku odlučivanju. Jedan od najčešće korišćenih je Expert Choice 11 (način korišćenja opisan u Tački 4.3.1.6). Analiza osetljivosti pomaže analitičaru (a i donosiocu odluke) da ispita različite skupove alternativnih rešenja. Analizom osetljivosti prikazuju se odnosi promene prioriteta alternativa kao funkcija značaja atributa, odnosno, kriterijuma, [52].

U posmatranom primeru ulazni podaci za model pomoću kojeg su izračunati prioriteti bili su procene relativnih važnosti kriterijuma i procene lokalnih prioriteta alternativa. Može se pretpostaviti da te procene mogu varirati u nekim rasponima, a da te promene još uvek budu u skladu s preferencijama donosioca odluke. Analiza osetljivosti vrši se sa ciljem da se vidi u kojoj meri se promene ulaznih podataka odražavaju na ukupne prioritete alternativa. Da bi se došlo do zaključka da li je rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promene ulaznih podataka, trebalo bi izračunati prioritete alternativa za brojne različite kombinacije ulaznih podataka.

Za analizu osetljivosti rešenja koristi se više načina, odnosno, postupaka. Dinamičkom analizom osetljivosti ukazuje se kako promena prioriteta jednog kriterijuma utiče na promenu prioriteta ostalih kriterijuma i prioriteta alternativa u okviru posmatranog kriterijuma. Značaj sprovođenja dinamičke analize osetljivosti je i u mogućnosti odredjivanja pojedinačnog učešća kriterijuma u prioritetima alternativa.

Gradijentna analiza osetljivosti ukazuje na to kako promena prioriteta jednog kriterijuma utiče na promenu prioriteta kriterijuma i alternativa, odnosno, na konačnu rang-listu alternativa kao rezultata.

Analiza osetljivosti performansi sažima prikaz prioriteta kriterijuma i alternativa za sve kriterijume pojedinačno i zbirno na globalnom nivou i na nivoima kriterijuma. Značaj analize osetljivosti performansi jeste u mogućnosti odredjivanja konačnog rešenja, odnosno, rezultata, rang-liste alternativa za bilo koji čvor na stablu kriterijuma u okviru pripadajućeg nivoa.

Analizom osetljivosti „glava glavi“ (jedan na jedan) odredjuje se za koliko procenata je veći značaj razmatranog kriterijuma u jednom odabranom paru alternativa u odnosu na drugu.

Dvodimenzionalna analiza osetljivosti pokazuje kako se alternative ponašaju prema dva odabrana kriterijuma.

#### **5.2.1.6 Korak 6: Finalno odlučivanje**

Jasno je da su u praksi retki slučajevi kada postoji savršeno rešenje zadatka VKO. Razlike u kriterijumima, a pogotovu njihova potpuna ili delimična kontradiktornost, predstavljaju suštinu problema VKA. Zato je koncept savršenog rešenja veoma ograničenog teorijskog i praktičnog značaja.

Ipak, donosioc odluke treba na kraju da usvoji neko rešenje. Rešenje koje prihvati donosioc odluke naziva se najbolje ili preferirano rešenje. Zadatak VKO je da pomogne dosiocu odluke da izabere rešenje koje smatra najboljim u datom problemu. Zato se napori ka rešavanju postavljenog višekriterijumskog problema često nazivaju višekriterijumska analiza.

Zavisno od toga kako se i kada donosioc odluke uključuje u rešavanje problema razlikuju se tri osnovna pristupa, odnosno, tri grupe metoda rešavanja:

- aposteriorni pristup,
- apriorni pristup i
- interaktivni i kooperativni pristup.

Donosioc odluke se u aposteriornom pristupu uključuje u analizu i rešavanje problema posle odredjivanja skupa dominantnih rešenja, dakle *a posteriori*. On sam treba da izabere najbolje rešenje. Zadatak analitičara je da iz dopustivog skupa izdvoji podskup dominantnih rešenja.

### 5.3 Primena modela 3N-AHP u realnim uslovima

Model 3N-AHP je hijerarhijski model problema odlučivanja koji je razvijen primenom kombinacije nekoliko metoda i sprovodi se u šest koraka. Testiranje modela izvršeno je pristupom „korak po korak“. Postupak testiranja modela detaljno je opisan u nastavku.

Kao ulazni podaci za testiranje modela korišćeni su podaci iz postojeće Studije vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja koridora autoputa E-763, Beograd - Južni Jadran, Sektor III: Požega – Boljare, [75]. Radi uporedjivanja dobijenih rezultata po modelu primenjenom u Studiji i rezultata dobijenih 3N-AHP modelom, kao skup preliminarnih kriterijuma korišćen je identičan skup kriterijuma definisan u Studiji. Na osnovu tih kriterijuma autori studije su i izvršili vrednovanje i rangiranje varijanti koridora navedenog putnog pravca. Takodje, prilikom izrade faktorske analize, zadržana je i struktura modela, odnosno, postojeća grupacija kriterijuma. U predmetnoj studiji, svi kvalitativni pokazatelji su kvantifikovani na način opisan u Studiji, [75]. U analizi slučaja korišćene su kvantifikovane vrednosti kvalitativnih kriterijuma.

U okviru primene modela 3N-AHP, najpre je u Tački 5.3.1 data analiza postojeće Studije, gde je opisan problem i predmet rada i korišćene metodologije, zatim je dat prikaz razmatranih varijanti koridora, ciljeva, kriterijuma, podkriterijuma i pokazatelja koji ih opisuju. Na kraju Tačke 5.3.1 dati su rezultati vrednovanja iz Studije po metodi „SAW“ i metodi „PROMETHEE“.

U Tački 5.3.2 opisan je detaljan način testiranja modela 3N-AHP na pomenutom slučaju. Opisano je svih šest koraka koji se spovode u okviru definisanog modela, te dati rezultati postignuti sprovođenjem testiranja modela.

Na kraju je, u Tački 5.3.3, data uporedna analiza rezultata vrednovanja i rangiranja varijanti iz Studije sa rezultatima dobijenim testiranjem 3N-AHP modela.

Ovde je neophodno napomenuti i činjenicu da cilj analize slučaja koja je sprovedena u ovom radu nije evaluacija postojeće Studije izradjene od strane CIP-a, [75], niti ukazivanje na bilo kakve nedostatke, propuste ili pogreške u sprovođenju Studije. Cilj sprovedene analize je, isključivo, testiranje definisanog modela 3N-AHP. Olakšavajuća okolnost koja je znatno ubrzala izradu studije slučaja, ležu u činjenici da je već postojala gotova baza podataka za konkretni slučaj (prethodne studije, ankete, istraživanja, projekti, elaborati, definisane alternative i drugo). Autori Studije su drage volje ustupili sve navedene podatke autoru ove disertacije i time dali svoj veliki doprinos u njenoj izradi.

### **5.3.1 Analiza postojeće studije vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja koridora autoputa E-763, Beograd - Južni Jadran, Sektor III: Požega - Boljare**

#### **5.3.1.1 Opis problema**

Prilikom izrade Generalnog izradjenod os strane Saobraćajnog instituta CIP d.o.o. iz Beograda, 2008. godine, u Knjizi 6, [75], izvršeno je vrednovanje i rangiranje varijantnih rešenja koridora pomenutog dela autoputa E-763.

#### **5.3.1.2 Predmet rada**

U okviru Generalnog projekta autoputa E-763 Beograd - Južni Jadran, na delu od Požega do granice sa Crnom Gorom (Boljare), utvrdjene su četiri moguće varijante koridora, i to:

- Varijanta 1: ZAPAD,
- Varijanta 2: CENTAR,
- Varijanta 3: ISTOK 1 i
- Varijanta 4: ISTOK 2.

Realizacija (izgradnja i eksploatacija) ma koje od analiziranih varijanti, imala bi za posledicu niz direktnih i indirektnih, pozitivnih i negativnih efekata. Svrha primene višekriterijumske analize bila je da se, za svaku od varijanti, identifikuju najznačajniji efekti, te upotrebe kao kriterijumi vrednovanja sa ciljem minimiziranja negativnih i maksimiziranja pozitivnih efekata, a zatim se, na osnovu rezultata primene izabrane metode VKA, izvrši rangiranje varijanti i investitoru predloži najprihvatljivija varijanta koridora autoputa radi dalje razrade potrebne studijsko-tehničke dokumentacije u skladu sa [93] i [94].

#### **5.3.1.3 Korišćena metodologija**

Za relativno rangiranje projektnih varijanti dela autoputa E-763, Požega – Boljari, u ovoj studiji je primenjivana procedura višekriterijumskog vrednovanja. Konkretno, u Studiji je izvršeno vrednovanje i rangiranje varijantnih rešenja primenom „SAW“ i „PROMETHEE“» metode.

#### **5.3.1.4 Korišćeni materijali**

Pri vrednovanju i rangiranju varijanti korišćeni su rezultati pojedinih delova Generalnog projekta i studija, i to:

- projekat trase (investiciono-gradjevinski i prostorni aspekt),
- saobraćajna studija (saobraćajni i ekonomski aspekt) i
- studija uticaja na životnu sredinu.

#### **5.3.1.5 Prikaz varijanti koridora**

U ovom delu date su tehničko-eksploatacione karakteristike razmatranih varijanti koridora autoputa i veličine prognoziranih saobraćajnih tokova sa grafičkim prikazima, po varijantnim rešenjima koridora i postojećoj mreži u koridoru planiranog autoputa.

- Varijanta 1 - Zapad (od km 145 do km 301+633.41)

Projektovana je zapadno od Požege, dolinom Djetinje do Sevojna ( $\approx 20$  km), a odatle počinje uspon južno od Užica i istočno od Čajetine, preko Zlatibora i Ljubiša, prema Kokinom Brodu (60 km). Od Kokinog Broda, istočno obilazi Novu Varoš i spušta se prema Sjenici (45 km). Od Sjenice se spušta jugozapadno od Pešterskog Polja i na  $\approx 125$  km od Požege, kod Sjenice se povezuju sa varijantom Centar. Ove dve varijante zajednički, u dužini od 33 km, prolaze na jug, zapadnim delom Pešterskog Polja (Koritnik, Giljeva, Čeret), do Boljara. Ukupna dužina ove varijante je  $\approx 158$  km, a zajednički deo sa varijantom Centar je  $\approx 33$  km.

- Varijanta 2 - Centar (od km 145 do km 247+93.68)

Projektovana je južno od Požege, dolinom Moravice (pored Arilja, Prilika), do ispred Ivanjice ( $\approx 25$  km). Na tom delu trase identična je sa varijantom Istok oko Golije. Dalje od Ivanjice, dolinom Grabovice, trasa počinje uspon na zapadne obronke Golije, preseca reku Kladnicu i zapadnom dolinskom stranom Uvca, spušta se prema Sjenici ( $\approx 48$  km). Odatle pa do Boljara ( $\approx 21$  km) trasa je identična sa varijantom Zapad.

- Varijanta 3 - Istok 1 (od km 145 do km 251+806.26)

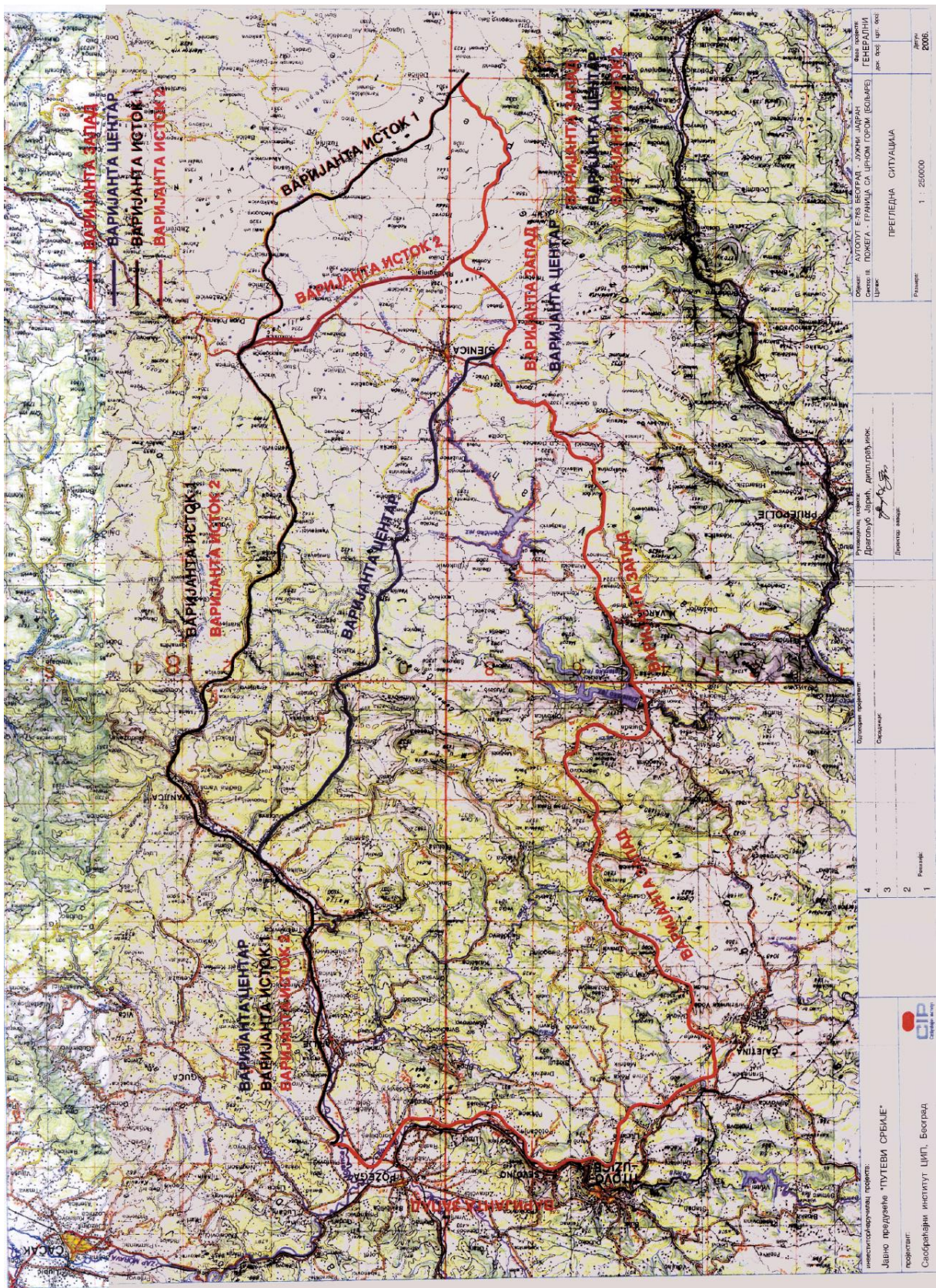
Projektovana je po istoj osovini i niveleti kao i varijanta Centar od Požege do ispred Ivanjice, u dužini od 25 km (na 170 km po obe osovine). Odatle, trase varijante Istok 1 prati tok Moravice, prolazi istočno od Ivanjice i na  $\approx 188$  km napušta dolinu i počinje uspon istočnim padinama Golije (Kosovičko brdo, Bratljevo, Kovilje) do km 202.5 ( $\approx 15$  km). Kod Kovilja (km 202.5) se spušta u dolinu Nošnice, uspon prati dolinu do prevoja i vododelnice Granica, odakle se lagano spušta u Sjeničko i Stupsko polje. Kod mesta Vrapci (km 217.5) trasa ulazi u u dolinu Brnjičke reke, preseca Žitničku i Rajansku reku i kod mesta Cetanoviće spušta se u dolinu Suvog potoka i Cetanjske reke. Odatle istočnim obodom Pešterskog polja dolazi u Boljare (km: 251+606.26).

- Varijanta 4 - Istok 2 (od km 145 do km 256+097.25)

Varijanta Istok 2 identična je sa varijantom Istok 1, od Požege do mesta Vrapci i Brnjica ( $\approx 220$  km), odnosno, 75 km od Požege. Odatle, trasa Istok 2 prelazi zapadno u odnosi na varijanti Istok 1. Na tom delu prati dolinu Brnjičke reke i dalje na zapad dolinom Knežnice. Preseca reku Vapu i preko Raždaginje, kod Koritnika spaja se sa varijantama Zapad i varijantom Centar na  $\approx$  km 237.5. Odatle pa do Boljara, tok nastavlja zajedničkom trasom dužine  $\approx 19$  km. Varijanta Istok 2 stiže na stacionažu km 256+097.25.

Prikaz ucrtanih varijanti dat je na Slici 5.13.





Slika 5.13: Prikaz vrijantnih rešenja koridora dela autoputa E-763 (Požega – Boljari)

5.3.1.6 Ciljevi, kriterijumi i pokazatelji vrednovanja

5.3.1.6.1 Ciljevi projekta

U najznačajnije ciljeve izgradnje autoputa Požega - Boljari autori Studije svrstali su sledeće:

- podizanje nivoa usluge,



- poboljšanje nivoa bezbednosti saobraćaja,
- smanjenje eksploatacionih troškova korisnika,
- omogućavanje optimalne opsluženosti visoko kapacitivnom i kvalitetnom saobraćajnicom postojećih naselja, funkcionalnih celina i putne mreže,
- maksimalno očuvanje životne sredine u koridoru planiranog autoputa i
- omogućavanje bržeg razvoja gravitacionog područja.

### 5.3.1.6.2 Kriterijumi i pokazatelji vrednovanja

Doprinos projekta realizaciji navedenih ciljeva podrazumeva razmatranje očekivanih efekata sa više aspekata: investiciono-gradjevinskog, saobraćajno-eksploatacionog, prostorno-urbanog, ekološkog i socio-ekonomskog. Na osnovu navedenih aspekata razmatranja, izabrani su kriterijumi na kojima je zasnovano višekriterijumsko vrednovanje razmatranih varijant.

U težnji da se na što koncizniji način izloži postupak vrednovanja projektovanih varijanti koridora autoputa, u Poglavlju 6 pomenute studije, [75], izložena je detaljna procedura proračuna veličina pokazatelja vrednovanja, s tim što su neki pokazatelji (sažeto prikazani u Studiji) preuzeti iz odgovarajućih elaborata i Projektne dokumentacije, odnosno, Generalnog Projekta autoputa Požega - Boljari, a neki posebno analizirani i utvrđeni u ovom elaboratu.

Na bazi 12 navedenih pokazatelja vrednovanja čije su vrednosti izložene u ovoj tački, autori studije su smatrali da je moguće sprovesti relativno rangiranje projektovanih varijanti po izabranim metodama višekriterijumskog vrednovanja („SAW“ i „PROMETHEE“). Autori studije su tabelarno i sažeto izložili izračunate veličine svih pokazatelja vrednovanja. Veličine izabranih pokazatelja vrednovanja prikazali su u obliku prilagodjenom za sprovođenje predviđenih procedura višekriterijumskog vrednovanja.

Autori Studije su na osnovu navedenih ciljeva i pokazatelja datih u Tabeli 5.1, definisali kriterijume na osnovu kojih su rangirali razmatrane varijante. Zaključili su da je relativno najpovoljnija varijanta ona koja ispunjava sledeće kriterijume (vrednovanje po metodi SAW):

- (1) *min.* investicioni troškovi gradjenja,
- (2) *min.* eksploatacioni troškovi korisnika,
- (3) *min.* troškovi održavanja,
- (4) *min.* ukupni troškovi saobraćajnih nezgoda,
- (5) *min.* vreme putovanja,
- (6) *min.* kolizija varijanti autoputa sa naseljima,
- (7) *min.* prostorni sukob sa postojećom namenom površina,
- (8) *max.* očuvanje mogućnosti budućeg uredjenje prostora,
- (9) *max.* funkcionalnost povezivanja prostornih celina i aktiviranja razvojnih potencijala,
- (10) *min.* rizik od uništavanja ili degradacije kulturnih i prirodnih vrednosti,
- (11) *min.* odnos prema ekološkim posledicama (buka u naseljenim zonama, aerzagadjenje, zagadjivanje površinskih i podzemnih voda, zagadjivanje tla, flora i fauna, vibracije) i
- (12) *max.* uticaj na društveni razvoj i indirektno ekonomske efekte.

Tabela 5.1: Preliminarni skup atributa za vrednovanje koridora autoputa

	KRITERIJUMI		PODKRITERIJUMI		POKAZATELJI
K1	Investiciono gradjevinski	K11	Investicioni troškovi gradjenja		
K2	Saobraćajno eksploatacioni	K21	Godišnji eksploatacioni troškovi korisnika		
		K22	Bezbednost saobraćaja	1 2	Broj nezgoda tokom jedne godine Troškovi saobraćajnih nezgoda
		K23	Godišnje vreme putovanja		
K3	Prostorno urbani	K31	Prostorni sukob sa postojećom namenom površina	1	Odnos koridora prema zonama stan.
				2	Odnos koridora prema radnim zonama
				3	Odnos koridora prema postojećoj strukturi korišćenja zemljišta
		K32	Prostorni sukob sa planiranom namenom povr.	1	Odnos koridora prema važećim PP
				2	Odnos koridora prema važećim UP
		K33	Mogućnost budućeg uredjenja prostora	1	Koridor je na većoj udaljenosti od 500m
2	Koridor je na manjoj udaljenosti od 500				
K34	Funkcionalnost povezivanja i aktiviranja razvojnih poten.	3	Koridor ograničava dalji razvoj		
		1	Fukcionalno povezivanje naselja		
K4	Ekološki	K41	Buka	2	Mogućnost aktiviranja razvojnih poten.
				3	
				1	Trase kroz naselje
		K42	Aerozagadjenje	2	Trasa tangira naselje
				3	Trasa van naselja
				1	Trasa kroz naselje i šume
		K43	Zagadjenje voda	2	Trasa kroz poljoprivredno zemljište
				3	Ostalo
				1	Izvori male izdašnosti u zoni uticaja
		K44	Zagadjenje tla	2	Vodotoci u zoni uticaja
				3	Hidro objekti u zoni uticaja
				1	Trasa kroz voćnjake, vinograde i polj.
		K45	Flora i fauna	2	Trasa kroz šume
				3	Trasa kroz naselje i ostalo
				1	Trasa kroz šume
		K46	Zauzimanje površina	2	Trasa kroz voćnjake, vinograde i polj.
				3	Trasa kroz naselje i ostalo
				1	Trasa kroz naselje i ostalo
K47	Vibracije	2	Trasa kroz šume, voćnjake i ostalo obradivo zemljište		
		3	Trasa kroz livade i pašnjake		
		1	Spomenici kulture i arheološka nalazišta u zoni uticaja		
K48	Rizik od uništavanja ili degradiranja prirodnih i kulturnih dobara	2	Trasa kroz naselje		
		3	Ostalo		
K5	Socio-ekonomski	K51	Razvoj turizma		
		K52	Razvoj poljoprivrede		
		K53	Promena u strukturi zapošljavanja		
		K54	Povećanje rentnog potencijala zemljišta		
		K55	Izmena vrednosti nekretnina		
		K56	Sprečavanje odliva stanovništva		
		K57	Povećanje kvaliteta života		

Autori dalje navode da su kriterijumi vrednovanj a posmatrani sa aspekta primenjenih metoda višekriterijumskog vrednovanja sledeći :

- u proceduri po „SAW“ metodi najpovoljnija je varijanta koja ima sledeću osobinu:

$$\max_{j=1}^{12} R_{ij} W_{ij}$$

- Kriterijume vrednovanja za proceduru po metodi „PROMETHEE“, autori su izložili u okviru Tačke 4.2. studije, a ovde su dati u Tabeli 5.1.

U Tabeli 5.2, sažeto su izložene izračunate veličine svih pokazatelja vrednovanja. Veličine izabranih pokazatelja vrednovanja prikazane su u obliku prilagodjenom za sprovođenje predviđenih procedura višekriterijumskog vrednovanja.

**Tabela 5.2: Uporedni prikaz vrednosti pokazatelja po varijantama (bazna matrica)**

KRITERIJUMI	VREDNOST PODKRITERIJUMA I POKAZATELJA	ZAPAD	CENTAR	ISTOK 1	ISTOK 2
K1	<b>Investiciono gradjevinski</b>				
	K11 Investicioni troškovi gradjenja (euro)	2.854.412.130,00	1.830.857.578,00	1.854.867.135,00	2.045.642.418,00
K2	<b>Saobraćajno-eksploatacioni</b>				
	K21 Godišnji eksploatacioni troškovi korisnika (din)	26.708.256.083,48	16.391.676.763,87	17.117.014.088,72	17.654.020.529,72
	K22 Broj nezgoda	52,60	33,90	35,50	36,70
	Troškovi nezgoda (din)	27.595.600,00	17.756.800,00	18.568.800,00	19.256.560,00
	K23 Godišnje vreme putovanja putnika (h)	18.568.800,00	4.328.764,29	4.515.483,42	4.603.952,39
K3	<b>Prostorno-urbani</b>				
	K31 Odnos koridora prema zonama stanovanja	16,45	5,85	8,45	7,69
	Odnos koridora prema radnim zonama	1,12	0,04	0,06	0,06
	Odnos koridora prema postojećoj strukturi korišćenja zemljišta	3,36	0,48	1,23	0,88
	K32 Odnos koridora prema važećim prostornim planovima	0,8	0,7	0,7	0,7
	Odnos koridora prema važećim urbanističkim planovima	0,6	1,2	1,2	1,2
	K33 Koridor je na većoj udaljenosti od 500 m	0,5	0,2	18,5	18,5
	Koridor je na manjoj udaljenosti od 500 m	0,9	0,5	9,7	9,7
	Koridor ograničava dalji razvoj	0,00	0,4	0,00	0,00
	K34 Funkcionalno povezivanje naselja	0,7	2,4	1,5	1,5
	Mogućnost aktiviranja razvojnih potencijala	0,12	0,12	0,24	0,24
K4	<b>Ekološki</b>				
	K41 Trasa kroz naselje (km)	9,364	1,330	3,439	2,462
	Trasa tangira naselje (km)	22,592	9,279	10,638	10,698
	Trasa van naselja (km)	76,372	46,249	58,847	63,937
	K42 Trasa kroz naselje i šume (km)	49,419	21,725	31,604	29,366
	Trasa kroz poljoprivredno zemljište (km)	13,898	18,208	22,823	27,371
	Ostalo (km)	78,466	61,422	52,379	54,360
	K43 Izvori male izdašnosti u zoni uticaja	230	129	140	152
	Vodotoci u zoni uticaja	113	81	127	113
	Hidro objekti u zoni uticaja	44	31	38	46
	K44 Trasa kroz voćnjake, vinograde i polj. zemljište (km)	13,898	18,208	22,823	27,371
	Trasa kroz šume (km)	40,055	20,395	28,165	26,905
	Trasa kroz naselje i ostalo (km)	87,829	62,752	55,818	56,821
	Trasa kroz šume (km)	40,055	20,395	28,165	26,905
	K45 Trasa kroz voćnjake, vinograde i polj. zemljište (km)	92,363	79,630	75,202	81,731
	Trasa kroz naselje i ostalo (km)	9,364	1,330	3,439	2,461
	Trasa kroz naselje (km)	9,364	1,330	3,439	2,461
	K46 Trasa kroz šume, voćnjake i obradivo zemljište (km)	53,953	38,603	50,988	54,276
	Trasa kroz livade i pašnjake (km)	78,465	61,422	52,379	54,360
	Spomenci kulture i arheološka nalazišta u zoni uticaja	26	13	15	17
	K47 Trasa kroz naselje (km)	9,364	1,330	3,439	2,461
	Ostalo	132,418	100,025	103,367	108,636
	K48 Zaštićena prirodna dobra	5	4	3	4
	Zaštićena kulturna dobra	17	11	12	15
K5	<b>Socio-ekonomski</b>				
	K51 Razvoj turizma (1-10)	6	7	8	8
	K52 Razvoj poljoprivrede (1-10)	5	6	7	8
	K53 Promena u strukturi zapošljavanja (1-10)	5	7	7	7
	K54 Povećanje rentnog potencijala zemljišta (1-10)	5	7	7	7
	K55 Izmena vrednosti nekretnina (1-10)	5	6	7	7
	K56 Sprečavanje odliva stanovništva (1-10)	3	6	8	8
	K57 Povećanje kvaliteta života (1-10)	6	6	8	8



### 5.3.1.7 Vrednovanje varijanti

Korišćenjem gore navedenih metoda, poštujući proceduru koju one nalažu, korak po korak, autori su došli do rezultata koji su dati u nastavku.

#### 5.3.1.7.1 Vrednovanje varijanti po metodi „SAW“

U prvom koraku autori su tabelarno prikazali pokazatelje po varijantama, čime su istovremeno formirali „baznu“ matricu. U sledećem koraku formirana je „bezdimezionalna“ matrica koja je takodje tabelarno prikazana. U trećem koraku izvršeno je relativno rangiranje kriterijuma, odnosno, odredjivanje relativnih težina kriterijuma ( $W_i$ ).

Relativne težine definisanih kriterijuma višekriterijumskog vrednovanja utvrdjene su ekspertnom ocenom. Anketirano je ukupno 56 učesnika (24 eksperta i 32 predstavnika iz 7 opština gravitacionog područja). Autori Studije u Prilogu daju prikaz Upitnika na koji su odgovore davali učesnici ankete, kao i rezultate statističke obrade odgovora dobijenih od učesnika ankete, odnosno, na taj način dobijene relativne značaje pojedinih kriterijuma, koje su i tabelarno prikazali.

Rangiranje varijanti po ovoj metodi izvršeno je na osnovu sumarne vrednosti proizvoda elemenata bezdimezionalne matrice  $R_{ij}$  i relativnih težina kriterijuma  $W_i$ .

Redosled projektovanih varijanti koridora autoputa Požega - Boljari, po „SAW“ metodi, prema autorima studije, je sledeći:

- I – CENTAR (0,89568);
- II - ISTOK 1 (0,88902);
- III - ISTOK 2 (0,86347);
- IV – ZAPAD (0,58676).

#### 5.3.1.7.2 Vrednovanje varijanti po metodi „PROMETHEE II“

U prvom koraku ove metode, autori su formirali „baznu“ matricu koja prikazuje vrednosti kriterijuma po alternativama ( $f_{ij}$ ).

U drugom koraku su prikazali odnose dominantnosti izmedju alternativa kroz utvrdjivanje amplituda devijacije kriterijumskih vrednosti varijante  $a$  u odnosu na varijantu  $b$ , formulom  $d=f(a)-f(b)$ .

U trećem koraku su izračunali indeks preferencije  $P(a,b)$  alternative  $a$  u odnosu na  $b$ , i to za svaki par alternativa ( $\forall a,b \in A$ ) i za svaki kriterijum  $f_j(\cdot)$  ( $\forall j=1,2,\dots,k$ ).

Nakon izračunavanja vrednosti indeksa preferencije formirali su „OUTRANKING GRAF“ na osnovu izračunatog pozitivnog  $F^+(a)$  i negativnog  $F^-(a)$  outranking toka za svaku alternativu.

Nakon toga, dobijenim parcijalnim rešenjima po metodi PROMETHEE II na osnovu sledećih relacija:

$aS^+b$	ako i samo ako	$\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$
$aI^+b$	ako i samo ako	$\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$
$aS^-b$	ako i samo ako	$\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$
$aI^-b$	ako i samo ako	$\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

i poredjenjem parova alternativa kako sledi:

$$aP^i b \text{ ako je } \begin{cases} aS^+ b \text{ i } aS^- b \\ aS^+ b \text{ i } aI^+ b \\ aI^+ b \text{ i } aS^- b \end{cases}$$

$$aI^+ b \text{ ako je } aI^+ b \text{ i } aI^- b$$

$$aP^i b \text{ ako je drugačije}$$

autori su dali kompletno rangiranje računanjem neto toka  $F(.)$  za svaku alternativu. Oni navode da je alternativa s najvećim neto tokom ujedno i najbolja alternativa.

Tabelarno su dali i izlazne rezultate za vrednovanje po ovoj metodi i izvršili rangiranje na sledeći način:

- I – ISTOK 2 (53);
- II - ISTOK 1 (52);
- III - CENTAR (45);
- IV – ZAPAD (35).

### 5.3.2 Primena modela 3N-AHP na konkretnom slučaju

Testiranje modela izvršeno je tokom 2013. godine. U prvom koraku je izvršena detaljna analiza zainteresovanih aktera (stakeholdera). Zatim je predloženom metodom vrednovanja relevantnosti zainteresovanih aktera izvršeno njihovo rangiranje prema važnosti. Detaljan postupak sprovođenja ovog koraka dat je u Tački 5.3.2.1.

U drugom koraku su identifikovani elementi preliminarnog skupa kriterijuma na način opisan u Tački 5.3.2.2.

Treći korak 3N-AHP modela predviđa utvrđivanje relevantnosti elemenata preliminarnog skupa kriterijuma sprovođenjem postupka kombinovanih metoda (ankete, deskriptivne statistike i faktorske analize). Na taj način je utvrđen skup relevantnih kriterijuma i faktora na osnovu kojih je formirana struktura hijerarhije problema. Ovaj korak detaljno je opisan u Tački 5.3.2.3.

U Tački 5.2.4.4 dat je postupak odabira metode VKA na inteligentan način, primenom metode drveta odlučivanja, koji je sproveden kao četvrti korak testiranja definisanog modela 3N-AHP.

Peti korak modela 3N-AHP podrazumeva vrednovanje i rangiranje varijantnih rešenja koridora predmetnog autoputa, kao i diskusiju o rezultatima na osnovu izvršene analize osetljivosti odabranog rešenja. Postupak sproveden u *Koraku 5* detaljno je opisan u Tački 5.2.4.5.

Sprovođenje poslednjeg koraka u testiranju 3N-AHP modela, *Koraka 6*, detaljno je opisano u Tački 5.2.4.6.

#### 5.3.2.1 Korak 1: Analiza i utvrđivanje relevantnih zainteresovanih aktera

Tokom sprovođenja Prethodnih studija za izradu Generalnog projekta dela autoputa E-763, Požega – Boljare, izvršene su analize okruženja oblasti kroz koju prolaze sva četiri varijantna rešenja koridora. Ukupno je obuhvaćena oblast od sedam opština (Požega, Užice, Čajetina, Arilje, Ivanjica, Nova Varoš i Sjenica). Svi zainteresovani akteri svrstani su u četiri osnovne

grupe: vlasnici sistema (System Owners), projektanti sistema (System Designers), graditelji sistema (System Builders) i korisnici sistema (System Users). Treba napomenuti da je zbog velikog područja koje se analizira, detaljnost sprovedene analize ograničena, odnosno, analizirani su samo najznačajniji akteri iz svake osnovne grupe aktera.

### 5.3.2.1.1 Korak 1.1: Analiza zainteresovanih aktera

Analiza zainteresovanih aktera započinje identifikacijom svih aktera koji su na bilo koji način vezani za problem kojise razmatra, te se na osnovu toga sačinjava preliminarna lista aktera. Za identifikaciju aktera koriste se različite metode. Pregled metoda dat je na Slici 5.6. Sačinjena lista zainteresovanih aktera data je u Tabeli 5.3.

**Tabela 5.3:** Preliminarna lista zainteresovanih aktera

BR.	NAZIV AKTERA	VAŽNOST/ ZNAČAJ (zašto ih treba uključiti)
1	Ministarstvo saobraćaja	Nadležnost u izgradnji
2	Ministarstvo gradjevinarstva i urbanizma	Nadležnost u planiranju
3	Ministarstvo zaštite životne sredine	Nadležnost u planiranju
4	Koridori Srbije	Nadležnost u upravljanju objektom
5	Opština Arilje	Lokalna administracija
6	Opština Užice	Lokalna administracija
7	Opština Čajetina	Lokalna administracija
8	Opština Nova Varoš	Lokalna administracija
9	Opština Ivanjica	Lokalna administracija
10	Opština Sjenica	Lokalna administracija
11	Opština Požega	Lokalna administracija
12	Saobraćajni institut CIP	Obradjivač studije
13	Državni univerzitet u Novom Pazaru	Centar struke u regionu
14	Preduzeće za puteve Užice	Potencijalni izvodjač radova
15	Preduzeće za puteve Novi Pazar	Potencijalni izvodjač radova
16	Klaster zdravstvenog, spa i velnes turizma	Klaster koji okuplja veliki broj značajnih
17	Zlatiborski eko agrar	Klaster poljoprivrednih proizvođača
18	NVO	Akteri civilnog društva
19	Fond za životnu sredinu Užice	Akteri zaštite životne sredine
20	Autoprevoznici	Profesionalna delatnost prevoza
21	Špedicije	Profesionalna delatnost prevoza
22	Ostali korisnici	Mnogobrojni, stalni ili povremeni

U drugom koraku vrši se klasifikacija identifikovanih aktera, koju je moguće izvršiti po više osnova. Klasifikacija je izvršena po dva osnova. Prvi osnov je pripadnost jednoj od četiri osnovne grupe. Klasifikacija po ovom osnovu data je u Tabelama 5.4 - 5.7.

**Tabela 5.4:** Zainteresovani akteri vlasnici sistema

BR.	NAZIV AKTERA	OBRAZLOŽENJE
1	Ministarstvo saobraćaja	Vlasnik, nadležnost u izgradnji
2	Ministarstvo gradjevinarstva i urbanizma	Vlasnik, nadležnost u planiranju
3	Ministarstvo zaštite životne sredine	Vlasnik, nadležnost u planiranju
4	Koridori Srbije	Vlasnik, nadležnost u upravljanju objektom

**Tabela 5.5:** Zainteresovani akteri projektanti sistema

BR.	NAZIV AKTERA	OBRAZLOŽENJE
1	Saobraćajni institut CIP	Projektant, obradjivač studije
2	Državni univerzitet u Novom Pazaru	Projektant, centar struke u regionu

**Tabela 5.6: Zainteresovani akteri graditelji sistema**

BR.	NAZIV AKTERA	OBRAZLOŽENJE
1	Preduzeće za puteve Užice	Graditelj, potencijalni izvodjač radova
2	Preduzeće za puteve Novi Pazar	Graditelj, potencijalni izvodjač radova

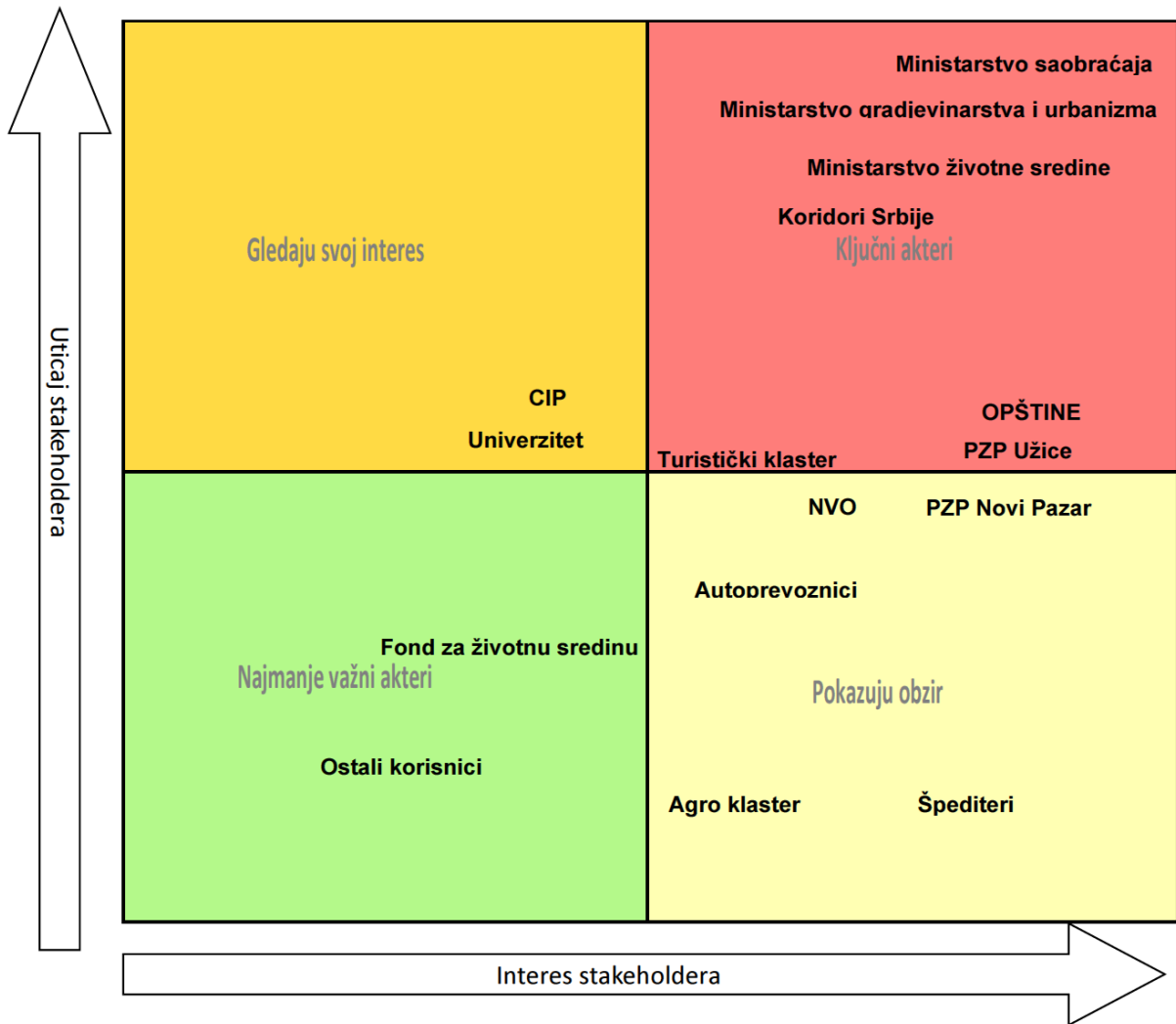
**Tabela 5.7: Zainteresovani akteri korisnici sistema**

BR.	NAZIV AKTERA	OBRAZLOŽENJE
1	Opština Arilje	Korisnik, lokalna administracija
2	Opština Užice	Korisnik, lokalna administracija
3	Opština Čajetina	Korisnik, lokalna administracija
4	Opština Nova Varoš	Korisnik, lokalna administracija
5	Opština Ivanjica	Korisnik, lokalna administracija
6	Opština Sjenica	Korisnik, lokalna administracija
7	Opština Požega	Korisnik, lokalna administracija
8	Klaster zdravstvenog, spa i velnes turizma	Korisnik, klaster turističkih subjekata
9	Zlatiborski eko agrar	Korisnik, klaster poljoprivrednih proizvođača
10	NVO	Korisnik, akteri civilnog društva
11	Fond za životnu sredinu Užice	Korisnik, akteri zaštite životne sredine
12	Autoprevoznici	Korisnik, profesionalna delatnost prevoza
13	Špedicije	Korisnik, profesionalna delatnost prevoza
14	Ostali korisnici	Korisnik, mnogobrojni, stalni ili povremeni

Drugi osnov klasifikacije je uticaj/interes zainteresovanih aktera na uspeh (ili neuspeh) projekta. Rezultati ove klasifikacije dati su u Tabeli 5.8, te je na osnovu njih formirana i Matrica uticaja (detaljnije opisano u Tački 5.2.1.1) koja je prikazana na Slici 5.14.

**Tabela 5.8: Identifikacija uticaja/interesa zainteresovanih aktera za uspeh projekta**

NIVO UTICAJA	NAZIV AKTERA	INTERES	OBRAZLOŽENJE
Veoma visok	Ministarstvo saobraćaja	Veoma visok	
Veoma visok	Ministarstvo gradjevinarstva i	Veoma visok	
Visok	Ministarstvo zaštite životne sredine	Veoma visok	
Visok	Koridori Srbije	Veoma visok	
Srednji	Opština Arilje	Veoma visok	
Srednji	Opština Užice	Veoma visok	
Srednji	Opština Čajetina	Veoma visok	
Srednji	Opština Nova Varoš	Veoma visok	
Srednji	Opština Ivanjica	Veoma visok	
Srednji	Opština Sjenica	Veoma visok	
Srednji	Opština Požega	Veoma visok	
Srednji	Saobraćajni institut CIP	Srednji	
Srednji	Državni univerzitet u Novom Pazaru	Srednji	
Nizak	Preduzeće za puteve Užice	Veoma visok	
Nizak	Preduzeće za puteve Novi Pazar	Veoma visok	
Srednji	Klaster zdravstvenog turizma	Visok	
Veoma nizak	Zlatiborski eko agrar	Visok	
Srednji	NVO	Visok	
Nizak	Fond za životnu sredinu Užice	Nizak	
Srednji	Autoprevoznici	Visok	
Nizak	Špedicije	Veoma visok	
Veoma nizak	Ostali korisnici	Nizak	



**Slika 5.14:** Matrica uticaja/interesa zainteresovanih aktera

Poslednji, treći korak u analize zainteresovanih aktera je definisanje medjusobnih veza, interesa i odnosa. Ovaj korak ujedno je i najsloženiji jer se pod pojmom „veza“ ovde podrazumeva utvrđivanje njihovih interesa i ciljeva, kao i njihovim medjusobnih veza i veza sa samim problemom koji se rešava. Korišćenjem analiza socijalne mreže, mreže učesnika, mape znanja i drugih tehnika, definišu se veze medju akterima. Ovaj korak je neophodan da bi se razumeli odredjeni stavovi i akcije zainteresovanih aktera. Uvek je poželjno, a najčešće i korisno, vizualizovati veze izmedju zainteresovanih aktera i identifikovati ih kao pozitivne ili negativne. Čineći njihove veze transparentnim, moguće je ograničiti negativne i iskoristiti pozitivne u cilju poboljšanja kvaliteta samog procesa.

Tabela 5.9 prikazuje veze izmedju pojedinih zainteresovanih aktera koje su utvrdjene na osnovu sprovedenih analiza, te u tabeli prikazane simbolima. Za prikazivanje karaktera medjusobnih veza korišćena su tri simbola: simbol (+), koji označava uzajamni interes koji postoji medju pojedinim zainteresovanih aktera, simbol (0), koji označava neutralni interes i simbol (!), koji označava suprotavljen interes medju zainteresovanih aktera. S obzirom da matrica prikazuje medjusobne veze, koje su najčešće obostrane, izvršeno je popunjavanje matrice definisanjem odnosa samo u jednom smeru. Drugi deo matrice moguće je popuniti tako što bi se izvršilo preslikavanje redova u kolone matrice.

**Tabela 5.9: Matrica veza izmedju zainteresovanih aktera**

KATEGORIJA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	!	!	0	0	!	0	!	!	0
2			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	!	!	0	0	!	0	!	!	0
3				+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	!	!	0	0	!	0	!	!	0
4					0	0	0	0	0	0	0	0	0	!	0	+	+	!	0	!	!	0
5						0	0	0	0	0	0	0	0	!	0	+	+	!	+	!	!	0
6							0	0	0	0	0	0	0	!	0	+	+	!	+	!	!	0
7								0	0	0	0	0	0	!	0	0	+	!	0	!	!	0
8									0	0	0	0	+	!	0	0	0	!	0	!	!	0
9										0	0	0	0	!	0	0	0	!	0	!	!	0
10											0	0	0	!	0	0	0	!	0	!	!	0
11												0	+	!	0	0	0	!	0	!	!	0
12													0	+	+	0	0	0	0	0	0	0
13														+	+	0	0	+	0	0	0	0
14															+	0	0	0	!	+	+	0
15																0	0	0	0	+	+	0
16																	+	+	+	+	0	0
17																		+	+	0	+	0
18																			+	0	0	0
19																				0	0	0
20																					+	+
21																						+
22																						

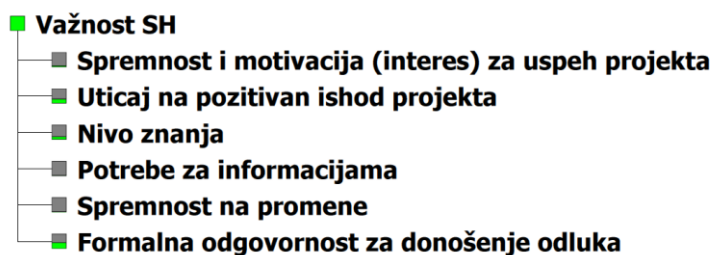
### 5.3.2.1.2 Korak 1.2: Vrednovanje i rangiranje zainteresovanih aktera

U okviru definisanog složenog modela, za vrednovanje i rangiranje relevantnih zainteresovanih aktera, preferirana je metoda Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), iz razloga navedenih u Tački 4.3.1.4. Kod većine modela višekriterijumskog odlučivanja (analize) za sprovođenje Koraka 1.2, kao potkoraka Koraka 1, neophodno bi bilo koristiti više od jedne metode. Primenom metode AHP ovaj se korak sprovodi jedinstveno, odnosno, primenom samo jedne metode.

Sprovođenje procesa odabir relevantnih zainteresovanih aktera AHP metodom, u skladu sa procedurom koju nalaže AHP, izvršeno je u četiri koraka. U prvom koraku je razvijena (formirana) hijerarhijska struktura sa ciljem na vrhu, kriterijumima u sredini i alternativama na dnu hijerarhije. U ovom slučaju cilj je definisan kao „utvrđivanje relevantnosti zainteresovanih aktera kao donosioca odluke“. Alternative su četiri grupe zainteresovanih aktera, a za kriterijume su odabrani atributi koji odlikavaju identifikovani cilj, interese i veze medju zainteresovanim akterima. Kriterijumi su sledeći: spremnost i motivacija (interes) za uspeh projekta, uticaj na pozitivan ishod projekta, nivo znanja, spremnost na promene, potrebe za informacijama, [34]. Hijerarhijski model prikazan je na Slici 5.15.

Vrednovanje je izvršeno grupnim odlučivanjem, gde su učestvovali moderator i odabrani (reprezentativni) predstavnici sve četiri grupe zainteresovanih aktera. Iz svake grupe, metodom „slučajnog odabira“, odabran je po jedan predstavnik. Kao krajnji rezultat procesa, dobijena je i procentualno izražena važnost pojedinih stakholdera za donošenje odluke. Proces vrednovanja sproveden je uz pomoć alata za podršku odlučivanju Expert Choice 11, čija je primena detaljno opisana u tački 4.3.1.6.

Treeview



Slika 5.15: Hijerarhijski model ocene relevantnosti zainteresovanih aktera

Imajući u vidu da će se proces vrednovanja i rangiranja alternativa koridora dela autoputa E-763, Požega – Boljare sprovoditi u *Koraku 5* ove studije slučaja, koji je u mnogostruko složeniji i kompleksiniji zadatak od ovog, u ovom koraku su dati rezultati sprovedenog vrednovanja bez detaljnog pojašnjavanja same procedure rada u programskom alatu Expert Choice 11.

Nakom izvršenog poredjenje u parovima u odnosu na cilj, izvršeno je i poredjenje alternativa u parovima u odnosu na svaki od kriterijuma. Expert Choice 11 sumira sve pojedinačne rezultate grupnog odlučivanja koje su uneli učesnici u procesu, te na osnovu njih daje konačan rezultat, odnosno, rangira alternative, u ovom slučaju grupe zainteresovanih aktera, prema njihovoj važnosti. Grupa zainteresovanih aktera čiji globalni uticaj ne prelazi 3%, ne smatra se relevantnom grupom. Rezultati vrednovanja dati su na Slici 5.16, sa koje se može videti da svi stakeholderi imaju veći globalni uticaj od 3%, te su na taj način potvrdili svoju relevantnost. Najveću važnost medju zainteresovanih aktera ima grupa Vlasnici projekta sa ocenom 0,420, odnosno, globalnim uticajem od 42%. Najmanji uticaj od 15,3%, ima grupa Korisnici projekta.

KREATORI PROJEKTA	,235
GRADITELJI PROJEKTA	,192
KORISNICI PROJEKTA	,153
VLASNICI PROJEKTA	,420

Slika 5.16: Rezultati ocene relevantnosti zainteresovanih aktera

Dobijeni rezultati u ovom koraku koristiće se prilikom vrednovanja relevantnosti kriterijuma, odnosno, tokom sprovedenja anketiranja koje je predviđeno u *Koraku 2* 3N-AHP modela.

### 5.3.2.2 Korak 2: Identifikacija preliminarnih kriterijuma

Skup preliminarnih kriterijuma vrednovanja definisan je na način opisan u Tački 5.2.1.2, a na principima definisanim u Tački 4.2.3 i njenim podtačkama (Tačka 4.2.3.1 i 4.2.3.2).

Kod definisanja kriterijuma veliku pomoć pružila je takozvana „ciljna analiza“, odnosno, analiza ciljeva koji se žele postići rešavanjem definisanog problema. U konkretnom slučaju, autori Generalnog projekta, [75], na osnovu projektnog zadatka datog od strane Investitora, definisali su ciljeve projekta koji su navedeni u Tački 5.3.1.6.1. Nakon sprovedene „ciljne analize“ definisan je deo kriterijuma (elemenata preliminarnog skupa kriterijuma).

Drugi deo kriterijuma preliminarnog skupa kriterijuma definisan je na osnovu fizičkih karakteristika infrastrukturnog objekta koji se projektuje. U ovom slučaju radi se autoputu, objektu saobraćajne infrastrukture. Treći deo preliminarnog skupa kriterijuma uzet je na osnovu iskustvenih saznanja autora Studije.

Kako je ranije navedeno u Tački 4.2.3.1, za razliku od alternativa koje su unapred definisane, attribute (kriterijume, podkriterijume, pokazatelje) uvek samostalno biramo i formulišemo. To znači da je njihov izbor subjektivan jer skup atributa odražava naš individualni stav, odnosno, otkriva naše specifične ciljeve koje želimo da postignemo donešenom odlukom. Zbog toga će skupovi atributa biti različiti za svakog od nas, a razlikovaće se po broju i sadržaju, ali i po značaju koji im pripisujemo.

U analizi sličaja u uvom radu, odnosno, primeni definisanog modela 3N-AHP, korišćen je isti skup preliminarnih kriterijuma koji su koristili i autori Studije, [75]. Razlog tome je što će na taj način biti moguće izvršiti uporedjivanje rezultata dobijenih po jednom i po drugom modelu i napraviti komparativnu analizu. Odabrani kriterijumi utiču isključivo na rezultat odabira varijantnog rešenja, ali nemaju uticaja na sam definisani model, ni u metodološkom niti u matematičkom smislu. Skup preliminaratnih kriterijuma dat je u Tabeli 5.1.

Medjutim, ovde treba napomenuti da se osim navedenih kriterijuma u razmatranje najčešće uzimaju i drugi kriterijumi. To naročito važi za grupu kriterijuma K1, odnosno, Investiciono-gradjevinske kriterijume, gde se, osim investicionih troškoka gradjenja objekta, u razmatranje uzimaju i sledeći bitni kriterijumi: operativni troškovi i troškovi održavanja, fizičke karakteristike terena, geometrija trase, teškoća izgradnje, mogućnosti budućeg proširenja i unapredjenja objekta, prosečni padovi/nagibi, prosečna zakrivljenost, merodavne brzine i drugi.

I ako su, po mišljenju mnogih autora, navedeni kriterijumi veoma bitni sa stanovišta vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja i u znatnoj meri mogu uticati na odabir optimalnog rešenja, ovde nisu razmatrani. U obzir je uzet poptuno identičan preliminarni skup kriterijuma koji su koristili autoru Studije, [75], iz razloga što se želela izvršiti uporedna analiza dobijenih rezultata po novom modelu i ranije korišćenim modelima.

### **5.3.2.3 Korak 3: Odredjivanje relevantnih kriterijuma vrednovanja**

Prikupljanje podataka provedeno je kvantitativnom metodom anketiranja relevantnih grupa zainteresovanih aktera. Ispitanici su anketirani sa svrhom ocenjivanja važnosti kriterijuma i podkriterijuma vrednovanja i rangiranja alternativnih rešenja koridora.

Anketa je sadržavala uvod, pitanja i uputstvo, te napomenu da će se prikupljeni podaci upotrebljavati isključivo kao deo statističkog uzorka. Ispitanici su uz anketu dobili prilog sa objašnjenjima kriterijuma i podkriterijuma, kako bi se izbegla nesigurnost ili moguće nerazumevanje pojedinih pojmova (kriterijuma/podkriterijuma). Anketni uputnik je dat u Prilogu 1.

Pitanja u anketi bila su uglavnom zatvorenog tipa, osim pitanja koja su se odlosila na lične podatke ispitanika. Od ispitanika je traženo da ocenama od 1-5 vrednuju važnost pojedinog kriterijuma za odabir optimalnog rešenja koridora. U ovom slučaju ispitanici su imali i



moćnost da upisuju neke nove kriterijume vrednovanja u koliko po njihovom mišljenju svi potrebni kriterijumi i potkriterijumi nisu obuhvaćeni anketom.

Anketni upitnik (Prilog 1) sastojao se od dva dela. Prvi deo je sadržao šest pitanja otvorenog tipa kojima su od ispitanika traženi osnovni podaci kao što su: pol, starost, školska sprema, zanimanje, naziv institucije u kojoj ispitanik radi, te radno mesto na kome ispitanik radi. Drugi deo upitnika sastojao se samo od jednog pitanja zatvorenog tipa, kojim su učesnici ankete (ispitanici) ocenjivali važnosti kriterijuma i podkriterijuma zaokruživanjem jedne od ocena od 1-5 (1-najmanja važnost, 5-najveća važnost). Za svaki od kriterijuma i podkriterijuma ispitanici su u prilogu mogli potražiti dodatno objašnjenje kako bi se izbeglo nerazumevanje pojmova. Ispitanici su imali i mogućnost upisivanja još četiri dodatna kriterijuma koje su oni smatrali relevantnim, te iste oceniti ocenama od 1-5.

#### **5.3.2.3.1 Ispitanici u istraživanju**

Relativne težine definisanih kriterijuma koje su korišćene u faktorskoj analizi sa ciljem utvrđivanja njihove relevantnosti, dobijene su anketiranjem relevantnih zainteresovanih aktera, čija je relevantnost i stepen važnosti (relativna težina) u procesu donošenja odluke, utvrđena sprovođenjem *Koraka 1*. Anketirano je ukupno 60 ispitanika. Iz svake grupe zainteresovanih aktera (vlasnici, projektanti, graditelji i korisnici sistema), metodom „slučajnog odabira“, izabrano je po 15 ispitanika. Rezultati deskriptivne statistike koji se odnose na pol, uzrast, obrazovanje i pripadnost jednoj od četiri grupe relevantnih stakeholdera detaljno su dati u Prilogu 2.

#### **5.3.2.3.2 Rezultati statističke obrade prikupljenih podataka**

U obradi prikupljenih podataka primenjena je metoda deskriptivne statistike i metoda faktorske analize. Primenom deskriptivne statistike napravljena je analiza rezultata na osnovu bročane obrade poznatih podataka kako bi se izrazile mere centralnih tendencija skupova podataka i mere difuzije podataka, te kako bi se grafički prikazale prosečne ocene važnosti kriterijuma i podkriterijuma odlučivanja. Rezultati deskriptivne statistike za kriterijume i podkriterijume vrednovanja prikazani su u Tabeli 5.10.

Rezultati obrade su pokazali da su ispitanici najvećom prosečnom ocenom važnosti ocenili Socio-ekonomski kriterijum (4,80), a najmanjom prosečnom ocenom Ekološki (3,72) i Prostorno-urbani kriterijum (3,73). Među podkriterijumima najveću ocenu dobili su Povećanje kvaliteta života i Razvoj poljoprivrede, sa prosečnom ocenom 4,72. Najmanjom prosečnom ocenom (3,60) vrednovan je podkriterijum Uticaj na floru i faunu.

#### **5.3.2.3.3 Rezultati faktorske analize**

Osnovni cilj primene faktorske analize ogleda se u verifikaciji i racionalizaciji postavljenog teoretskog modela kriterijuma/podkriterijuma za vrednovanje alternativa koridora infrastrukturnog linijskog objekta. Faktorska analiza je provedena statističkim programom SPSS Statistic 20. U obradi rezultata uzeti su podaci ankete u kojoj je učestvovalo 60 ispitanika, N=60. Nepotpunih upitnika nije bilo. I ako je u anketi ostavljena mogućnost da ispitanici dopišu najviše četiri kriterijuma koje oni smatraju relevantnim, a koji nisu

obuhvaćeni anketnim upitnikom, niko od ispitanika nije iskoristio tu mogućnost. Na osnovu toga, skup preliminarnih kriterijuma koji je utvrđen u *Koraku 2*, ostao je nepromenjen.

**Tabela 5.10: Rezultati deskriptivne statistike za kriterijume i podkriterijume**

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Variance
Investiciono-gradjevinski kriterijum	60	3	3	5	4.33	.752	.565
Saobraćajno-eksploatacioni kriterijum	60	2	3	5	4.28	.613	.376
Godišnji eksploatacioni troškovi korisnika	60	2	3	5	4.28	.666	.444
Broj saobraćajnih nezgoda	60	2	3	5	4.50	.537	.288
Troškovi nezgoda	60	3	2	5	4.08	.787	.620
Godišnje vreme putovanja putnika	60	3	2	5	4.08	.743	.552
Prostorno-urbani kriterijum	60	3	2	5	3.73	.800	.640
Prostorni sukob sa postojećom namenom površina	60	4	1	5	3.82	.965	.932
Prostorni sukob sa planiranom namenom površina	60	3	2	5	3.90	.817	.668
Mogućnost budućeg uredjenja prostora	60	3	2	5	4.32	.748	.559
Funkcionalnost povezivanja i aktiviranja razvojnih potencijala	60	3	2	5	3.72	.922	.851
Ekološki kriterijum	60	3	2	5	3.72	.922	.851
Buka	60	3	2	5	4.03	.736	.541
Aerozagadjenje	60	3	2	5	4.30	.809	.654
Zagadjenje voda	60	3	2	5	3.80	.777	.603
Zagadjenje tla	60	3	2	5	4.03	.780	.609
Flora i fauna	60	3	2	5	3.60	.785	.617
Zauzimanje površina	60	3	2	5	4.22	.885	.783
Vibracije	60	3	2	5	4.30	.809	.654
Rizik od uništavanja ili degradiranja prirodnih i kulturnih dobara	60	3	2	5	3.80	.777	.603
Socio-ekonomski kriterijum	60	2	3	5	4.80	.480	.231
Razvoj turizma	60	2	3	5	4.53	.676	.456
Razvoj poljoprivrede	60	1	4	5	4.72	.454	.206
Promena u strukturi zapošljavanja	60	4	1	5	4.33	.877	.768
Povećanje rentnog potencijala zemljišta	60	4	1	5	4.03	.938	.880
Izmena vrednosti nekretnina	60	2	3	5	4.43	.698	.487
Sprečavanje odliva stanovništva	60	2	3	5	4.40	.588	.346
Povećanje kvaliteta života	60	1	4	5	4.72	.454	.206
Valid N (listwise)	60						

Postupak faktorske analize sproveden je metodom glavnih komponenta (engl. *principal component*), [28], a faktori su određeni primenom ortogonalne varimax rotacije i Kaiserovog postupka normalizacije, [28].

U postupku faktorske analize izvršena je specifikacija broja faktora, te je utvrđeno da je broj faktora iznosio *pet*. Kao ulaz u faktorsku analizu korišćene su varijable iz upitnika, ukupno 24 varijable teoretskog modela kriterijuma vrednovanja koridora infrastrukturnog linijskog objekta. Razlog specifikacije broja faktora u faktorskoj analizi bila je postojeća struktura teoretskog modela kriterijuma vrednovanja. U logičkoj strukturi teoretskog modela može se prepoznati pet faktora: investiciono-gradjevinski, saobraćajno-eksploatacioni, prostorno-urbani, ekološki i socio-ekonomski kriterijum. Metodom faktorske analize glavnih komponenata i primenom ortogonalne varimax rotacije, dobijeni su faktori skoro identični strukturi teoretskog modela. Rezultati su pokazali poklapanje u najvećem delu strukture, čime je verifikovan definisani teoretski model.

Kako bi se utvrdila pouzdanost definisanog teoretskog modela, korišćenjem prikupljenih podataka dobijen je Cronbach-ov alpha-koeficijent za procenu unutrašnje konzistencije rezultata koji je, za kompletan model od 24 varijable, iznosio 0,828. Nakon toga napravljena je faktorska analiza na N=60 ispitanika. Metodom glavnih komponenata ekstrahovani su statistički značajni faktori u prostoru varijabli teoretskog modela uz ortogonalni način rotacije i Varimax kriterijum rotacije. Tokom faktorske analize dobijen je KMO indeks (Kaiser-Meyer-Olkin indeks, indeks adekvatnosti uzorkovanja) K=0,704.

Tabela 5.11 prikazuje procenat varijanse rezultata dobijene postupkom faktorske analize za definisani teoretski model kriterijuma odlučivanja.

**Tabela 5.11:** *Procenat varijanse rezultata faktorske analize za teorijski model kriterijuma*

<b>Faktori</b>	<b>Karakteristični koren (ukupno)</b>	<b>Procenat varijanse</b>	<b>Kumulativni procenat varijanse</b>
<b>F1:</b> Socio-ekonomski	3,967	14,694	14,694
<b>F2:</b> Saobraćajno-eksploatacioni	3,426	12,690	27,384
<b>F3:</b> Investiciono-gradjevinski	3,221	11,931	39,314
<b>F4:</b> Prostorno-urbani	2,641	9,782	49,097
<b>F5:</b> Ekološki	2,457	9,101	58,197

U drugoj koloni Tablele 5.11 prikazani su ukupni karakteristični koreni (tzv. lambda koeficijenti) koji iskazuju jačinu pojedinog faktora. U trećoj koloni prikazani su procenat varijanse za koje pojedini faktori daju objašnjenje. U četvrtoj koloni dati su kumulativni procenat varijanse. Na osnovu pet faktora kumulativno je objašnjeno 58,197% varijanse rezultata (prvi faktor objašnjava 14,694% varijanse rezultata, drugi 12,690%, treći 11,931%, četvrti 9,782% , a peti faktor 9,101% od ukupne varijanse rezultata).

U Tabeli 5.12 prikazana je rotirana matrica komponenata sa prikazom varijabli teoretskog modela koje imaju najveću projekciju varijanse na pojedini faktor. Na osnovu kriterijuma projekcije varijanse varijable na pojedini faktor veličine 0,519 i kriterijuma neujednačenih projekcija varijabli na više faktora, nije bilo varijabli koji nisu zadovoljile ova dva kriterijuma, te nije bilo potrebe za isključivanjem bilo koje varijable, odnosno, potrebe za redukovanjem modela.

Na osnovu rezultata faktorske analize potvrđeno je svih pet faktora zadatih na početku analize. Faktorska analiza je takodje potvrdila validnost definisanog teorijskog modela kriterijuma vrednovanja. Time su verifikovani svi kriterijumi iz skupa preliminarnih kriterijuma i potvrđena njihova relevantnost. Tako dobijeni skup relevantnih kriterijuma biće

korišćen u procesu vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja koridora linijskog infrastrukturnog objekta, koji će se sprovesti u *Koraku 5*.

Detaljan algoritam sprovođenja faktorske analize dat je u Prilogu 3.

**Tabela 5.12: Rotirana matrica koeficijentata s prikazom projekcije varijance na teorijski model**

	F1	F2	F3	F4	F5
<b>F1: Socio-ekonomski kriterijumi</b>					
Izmena vrednosti nekretnina	<b>0,869</b>	0,022	0,092	0,030	-0,046
Promena u strukturi zapošljavanja	<b>0,803</b>	0,031	0,106	0,095	0,113
Razvoj poljoprivrede	<b>0,783</b>	0,233	0,139	0,175	0,029
Povećanje kvaliteta života	<b>0,766</b>	0,143	0,232	0,173	0,124
Razvoj turizma	<b>0,729</b>	0,236	0,282	0,154	0,158
Povećanje rentnog potencijala	<b>0,578</b>	-0,126	0,217	0,189	0,068
Sprečavanje odliva stanovništva	<b>0,534</b>	0,087	0,112	0,034	-0,087
<b>F2: Saobraćajno-eksploatacioni kriterijumi</b>					
Troškovi nezgoda	-0,223	<b>0,879</b>	0,141	-0,014	0,110
Broj saobraćajnih nezgoda	-0,076	<b>0,803</b>	0,123	0,164	0,161
Godišnji eksploatacioni troškovi	0,266	<b>0,753</b>	-0,051	0,142	0,154
Godišnje vreme putovanja korisnika	0,102	<b>0,733</b>	0,151	0,004	-0,030
<b>F3: Investiciono-gradjevinski kriterijumi</b>					
Investicioni troškovi gradjenja	0,229	0,167	<b>0,918</b>	0,144	0,029
<b>F4: Prostorno-urbani kriterijumi</b>					
Prostorni sukob sa planiranom	0,194	0,074	0,035	<b>0,757</b>	0,235
Mogućnost budućeg uredjenja	0,090	0,293	-0,046	<b>0,631</b>	-0,041
Prostorni sukob sa postojećom	0,152	-0,040	0,436	0,575	0,119
Funkcionalnost povezivanja i aktiviranja razvojnih potencijala	0,249	-0,130	0,123	<b>0,522</b>	-0,237
<b>F5: Ekološki kriterijumi</b>					
Zagadjenje voda	0,110	-0,083	-0,045	0,051	<b>0,781</b>
Rizik od uništavanja i degradiranja	0,310	0,241	0,115	0,199	<b>0,719</b>
Buka	0,169	0,213	-0,206	0,328	<b>0,692</b>
Vibracije	0,133	-0,188	0,294	-0,400	<b>0,630</b>
Aerozagadjenja	0,107	0,304	-0,543	0,175	<b>0,656</b>
Zagadjenje tla	-0,206	-0,206	-0,206	0,173	<b>0,612</b>
Uticao na floru i faunu	0,258	-0,203	0,195	0,154	<b>0,591</b>
Zauzimanje površina	-0,188	0,294	-0,400	0,189	<b>0,529</b>
Zagadjenje voda	0,110	-0,083	-0,045	0,051	<b>0,781</b>

#### 5.3.2.4 Korak 4: Inteligentni odabir VKA metode

Donošenje odluke pomoću drveta odlučivanja (Decision Tree Analysis), kao jedne od metoda inteligentnog odlučivanja, predstavlja posebna metoda pomoću koje se realan problem predstavlja kao stablo koje se grana u više mogućih alternativnih rešenja. Grafički se može predstaviti kao stablo, gde grane predstavljaju alternativne pravce, a čvorovi mesto

odlučivanja. Na taj način formira se lanac povezanih i medjuzavisnih odluka koje utiču i opredeljuju osnovnu, odnosno, konačnu odluku. Način donošenja odluke metodom Drveta odlučivanja bliže je opisan u Tački 5.2.1.4.

Na Slici 5.9 prikazano je drvo odlučivanja za odabir VKA metode. Polazeći od vrha drveta, sledeći smer grananja, na svakom čvoru je potrebno zastati i doneti određenu odluku. Rezultat odluke, u ovom slučaju to je odgovor sa „Da“ ili „Ne“, na određeno pitanje, pokazuje pravac daljeg napredovanja, sve dok se ne stigne do kraja neke određene grane. Alternative na kraju grane su moguća rešenja, odnosno, rezultat procesa odlučivanja.

U konkretnom slučaju, na prvom čvoru, daje se odgovor na pitanje „Da li su alternative eksplicitno određene“. S obzirom da se razmatrani problem u ovom radu odnosi na odabir eksplicitno definisanih alternativa koridora, nastavlja se napredovanje u smeru „Da“, odnosno, izbor će biti neka od metoda VKO (višekriterijumskog odlučivanja) ili VKRA (višekriterijumske analize).

Na sledećem čvoru, dajući odgovor na pitanje „potrebno definisati potpuni poredak alternativa“, što je u ovom slučaju „Da“, došlo se do rezultata da će izbor biti neka od metoda VKRA. Nastavljajući sa napredovanje ka sledećem čvoru, gde se treba dati odgovor na pitanje „da li je definisana matrica odlučivanja“, što u konkretnom slučaju nije, već to treba tek uraditi, došlo se do poslednjeg čvora ove grane, odnosno, odabira metode AHP (Analitički hijerarhijski proces).

Dakle, metoda koja će u konkretnom slučaju, s obzirom na prirodu problema, biti korišćena za vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja koridora infrastrukturnog linijskog objekta je metoda AHP.

### **5.3.2.5 Korak 5: Vrednovanje i rangiranje alternativa**

3N-AHP model omogućava donosiocu odluka da proceni koje je od ponudjenih alternativnih rešenja koridora autoputa E-763, Sektor III: Požega – Boljare, s obzirom na definisane kriterijume i podkriterije odlučivanja, te na osnovu vrednosti pokazatelja, optimana alternativa.

Razvijeni 3N-AHP model je uspešno testiran korišćenjem programskog alata Expert Choice 11, uz pomoć koga je sprovedeno grupno odlučivanje, integrisanje različitih aspekata mišljenja, te prezentiranje jedinstvenog zajedničkog rešenja donosioca odluke.

Programski alat Expert Choice 11 omogućuje provodjenje metode AHP, koja je odabrana kao rezultat inteligentnog odabira uz pomoć drveta odlučivanja (Tačka 5.3.2.4), kroz nekoliko faza. U početnoj fazi vrši se interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao priprema scenarija odlučivanja. Zatim se sprovodi vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma, podkriterijuma i alternativa) u *top-down* (odozgo na dole) ili *bottom-up* (odozdo na gore) smeru, te se na kraju vrši sinteza svih vrednovanja po strogo utvrđenom matematičkom modelu (Tačka 4.3.1.2), te određuju težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije. Zbir težinskih koeficijenata elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak je jedan (1), što omogućava donosiocu (donosicima) odluka da rangira (rangiraju) sve elemente u horizontalnom i vertikalnom smislu. Omogućena je i provera konzistentnosti rezonovanja

donosioca odluke i utvrđivanje ispravnosti rangova alternativa i težinskih vrednosti kriterijuma i podkriterijuma.

Verzija programskog alata Expert Choice 11 podržava i grupno odlučivanje i korišćena je u testiranju 3N-AHP modela. Postupak grupnog odlučivanja uz pomoć alata Expert Choice 11 detaljno je opisan u Tački 4.3.1.6.

Cilj grupnog odlučivanja sprovedenog u okviru ove studije slučaja je vrednovanje i rangiranje, odnosno, donošenje odluke o optimalnom rešenju koridora autoputa E-763, Beograd – Južni Jadra, Sektor III: Požega – Granica sa Crnom Gorom (Boljare).

Grupno odlučivanje AHP metodom pomaže grupi da strukturiše problem u modelu odlučivanja, odredi prioritete upoređivanjem u parovima, vrednuje i rangira alternativna rešenja, te diskutuje o dobijenim rešenjima koristeći analizu osetljivosti.

#### **5.3.2.5.1 Korak 5.1: Razvoj hijerarhijskog modela problema odlučivanja**

U postupku razvoja hijerarhijskog modela problema odlučivanja, primenom software-a Expert Choice 11, razvijena je hijerarhijska struktura u pet nivoa. Na nultom nivou nalazi se cilj, koji je u ovom slučaju definisan kao „odabir optimalnog alternativnog rešenja koridora“. Na nivou 1, nalaze se kriterijumi odlučivanja: investicino-gradjevinski, saobraćajno-eksploatacioni, prostorno-urbani, ekološki i socio-ekonomski kriterijumi. Na nivou 2, nalaze se podkriterijumi odlučivanja, a na nivou 3 se nalaze pokazatelji odlučivanja. Na poslednjem, najnižem nivou, nivou 4, nalaze se četiri zadate alternative: varijanta Zapad, varijanta Centar, varijanta Istok 1 i varijanta Istok 2.

#### **5.3.2.5.2 Korak 5.2: Poredjenje atributa u parovima**

S obzirom na činjenicu da se u postupku poredjenja atributa u parovima koristio pristup grupnog odlučivanja, gde je odluku o težinama kriterijuma i podkriterijuma donosio veći broj članova, realno je bilo očekivati da će odlučivanje biti drugačije od individualnog. Na zajedničku odluku grupe uticao je svaki pojedinac sa svojim znanjima, iskustvima i ličnim karakteristikama.

Kakav će biti proces grupnog odlučivanja u mnogome zavisi od znanja i sposobnosti članova grupe, ali i od toga jesu li njihova znanja komplementarna, konkurentna ili istorodna. Najbolji rezultati u grupnom odlučivanju obično se postižu ako su znanja članova grupe koja odlučuje komplementarna, a najslabiji rezultati kada su znanja članova grupe konkurentna ili istorodna. Zato je izbor učesnika grupnog odlučivanja u procesu odabira optimalne alternative koridora predmetne deonice autoputa E-763 izvršen sa ciljem postizanja komplementarnosti znanja učesnika procesa odlučivanja. Detaljan opis kompetentnosti učesnika dat je u Tabeli 5.13.

Programski alat Expert Choice 11 pruža mogućnost da se ocene eksperata unose posebno, te nije nužno da oni budu istovremeno na jednom mestu. To je znatno olakšalo proces odlučivanja. I ako se radi o grupnom odlučivanju, moderator je, onda kad je to pojedinim članovima grupe odgovaralo, zajedno sa članom grupe unosio rezultate ocenjivanja. Nakon unošenje svih rezultata poredjenja u parovima koji su izvršili svi članovi grupe i koji su vršili samo poredjenje kriterijuma i podkriterijuma u odgovarajućim parovima i na odgovarajućim

nivoima. Zatim je moderator, opcijom direktnog unošenja, uneo odnose medju alternativama, dobijene normalizacijom vrednosti pokazatelja i podešene načinu unošenja u program Expert Choice 11.

**Tabela 5.13:** Pregled kompetentnosti učesnika procesa grupnog odlučivanja

Članovi grupe	Kompetentnosti
<b>Član 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- doktor tehničkih nauka iz oblasti gradjevinarstva, uža oblast saobraćajnice</li> <li>- naučno-nastavno zvanje docent</li> <li>- angažovan na predmetima Osnovi saobraćajnica, Saobraćajnice 1</li> <li>- veći broj naučnih i stručnih radova iz navedenih oblasti</li> <li>- 14 godina radnog iskustva</li> </ul>
<b>Član 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- doktor tehničkih nauka iz oblasti gradjevinarstva, uža oblast Organizacija i tehnologija gradjenja</li> <li>- naučno-nastavno zvanje docent</li> <li>- angažovan na predmetima Organizacija i tehnologija gradjenja, Ekonomika gradjenja, Regulatorika u gradjevinarstvu</li> <li>- veći broj naučnih i stručnih radova iz navedenih oblasti</li> <li>- 17 godina radnog iskustva</li> </ul>
<b>Član 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- doktor ekonomskih nauka, uža oblast Ekonomski razvoj</li> <li>- naučno-nastavno zvanje docent</li> <li>- angažovan na predmetu Životna sredina i razvoj</li> <li>- veći broj naučnih i stručnih radova iz navedenih oblasti</li> <li>- 28 godina radnog iskustva</li> </ul>
<b>Član 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- doktor tehničkih nauka iz oblasti arhitekture, uža naučna oblast Urbanističko i prostorno planiranje</li> <li>- naučno-nastavno zvanje redovni profesor</li> <li>- angažovan na predmetima Osnovi urbanizma, Prostorno planiranje</li> <li>- veći broj naučnih i stručnih radova iz navedenih oblasti</li> <li>- 35 godina radnog iskustva</li> </ul>
<b>Član 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dipl.inženjer zaštite životne sredine</li> <li>- 17 godina radnog iskustva</li> <li>- ekološki inspektor u jedinici lokalne samouprave</li> <li>- učesnik mnogih konferencija o zaštiti životne sredine</li> </ul>

Vrednosti su, u zavisnosti da li se teži njihovom minimumu ili maksimumu, dobijene tako što su sabrane pojedinačne vrednosti odredjenog pokazatelja za sve četiri varijante koridora, a onda pojedinačna vrednost tog pokazatelja podeljena sa zbirom vrednosti odredjeog pokazatelja za sve četiri varijante. U koliko se teži maksimumu vrednosti tog pokazatelja, dobijeni rezultati stvarno i odslikavaju prednost odredjene varijante nad drugom. U koliko se teži minimumu vrednosti odredjenog pokazatelja, onda se umesto njihovih stvarnih vrednosti operiše sa recipročnim vrednostima pokazatelja. Način normalizacije u ovakvim slučajevima bliže je opisan u primeru iz Tačke 5.2.1.5. Normalizovane vrednosti pokazatelja prikazane su u Tabeli 5.14.

Direktnim unošenjem vrednosti medjuodnosa varijanti u odnosu na odredjeni pokazelj, završen je proces vrednovanja kriterijuma, podkriterijuma i alternativa. Program po automatizmu proračunava konačne vrednosti medjudnosa aternativa u odnosu na zadati cilj.

### 5.3.2.5.3 Korak 5.3: Rangiranje alternativa (odredjivanje najboljeg varijantnog rešenja)

Program Expert Choice 11, nakon izvršenog uporedjivanja u parovima za kriterijume, podkriterijume i alternative, integrišući ocene svih članova grupe za odlučivanje, proračunava medjuodnose alternativa u odnosu na postavljeni cilj, te na osnovu tako dobijenih vrednosti vrši rangiranje alternativa po važnosti. Dobijeni rezultati mogu se analizirati i interpretirati zasebno za svakog učesnika i grupno, kao sinteza rezultata svih učesnika u procesu grupnog odlučivanja.

**Tabela 5.14: Bezdimezionalna matrica odlučivanja**

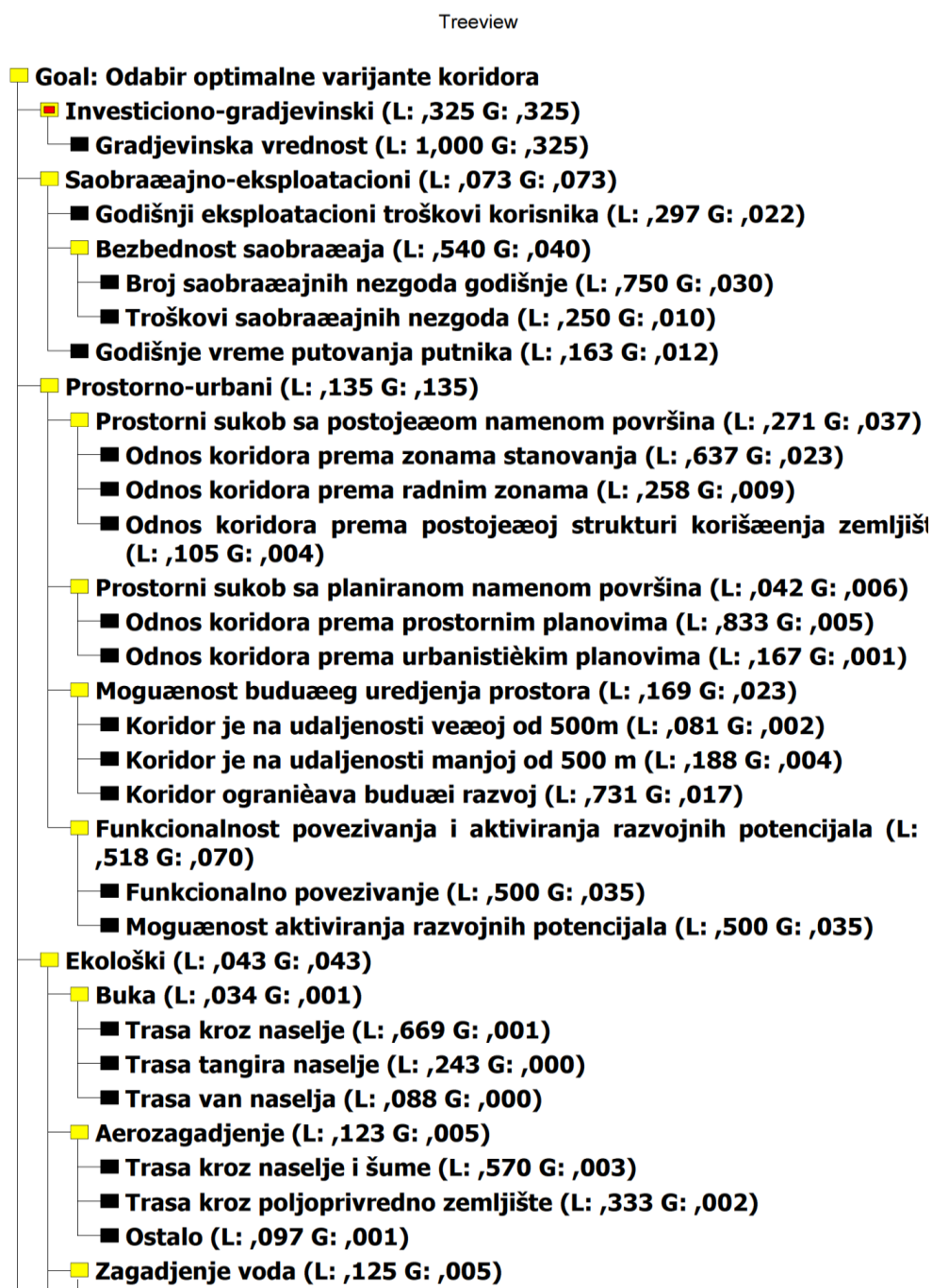
	KRITERIJUMI	VREDNOST PODKRITERIJUMA I POKAZATELJA	ZAPAD	CENTAR	ISTOK 1	ISTOK 2	
K1	Investiciono-gradjevinski	K11	Investicioni troškovi gradjenja (euro)	0,182	0,284	0,280	0,254
		K2	Saobraćajno-eksploatacioni	K12	Godišnji eksploatacioni troškovi korisnika (din)	0,175	0,286
K13	Broj nezgoda			0,183	0,284	0,271	0,262
	Troškovi nezgoda (din)			0,183	0,284	0,272	0,262
K14	Godišnje vreme putovanja putnika (h)			0,074	0,319	0,306	0,300
K3	Prostorno-urbani	K31	Odnos koridora prema zonama stanovanja	0,127	0,356	0,246	0,271
			Odnos koridora prema radnim zonama	0,015	0,422	0,281	0,281
			Odnos koridora prema postojećoj strukturi korišćenja zemljišta	0,069	0,481	0,188	0,262
		K32	Odnos koridora prema važećim prostornim planovima	0,226	0,258	0,258	0,258
			Odnos koridora prema važećim urbanističkim planovima	0,400	0,200	0,200	0,200
		K33	Koridor je na većoj udaljenosti od 500 m	0,281	0,703	0,008	0,008
			Koridor je na manjoj udaljenosti od 500 m	0,335	0,603	0,031	0,031
		K34	Koridor ograničava dalji razvoj	0,333	0,000	0,333	0,333
			Fukcionalno povezivanje naselja	0,449	0,131	0,210	0,210
			Mogućnost aktiviranja razvojnih potencijala	0,333	0,333	0,167	0,167
K4	Ekološki	K41	Trasa kroz naselje (km)	0,069	0,483	0,187	0,261
			Trasa tangira naselje (km)	0,130	0,317	0,277	0,275
			Trasa van naselja (km)	0,194	0,321	0,252	0,232
		K42	Trasa kroz naselje i šume (km)	0,153	0,349	0,240	0,258
			Trasa kroz poljoprivredno zemljište (km)	0,347	0,265	0,211	0,176
			Ostalo (km)	0,192	0,245	0,287	0,277
		K43	Izvori male izdašnosti u zoni uticaja	0,168	0,300	0,277	0,255
			Vodotoci u zoni uticaja	0,233	0,326	0,208	0,233
			Hidro objekti u zoni uticaja	0,221	0,313	0,255	0,211
		K44	Trasa kroz voćnjake, vinograde i polj. zemljište (km)	0,347	0,265	0,211	0,176
			Trasa kroz šume (km)	0,170	0,334	0,242	0,253
			Trasa kroz naselje i ostalo (km)	0,181	0,254	0,285	0,280
		K45	Trasa kroz šume (km)	0,170	0,334	0,242	0,253
			Trasa kroz voćnjake, vinograde i polj. zemljište (km)	0,221	0,257	0,272	0,250
			Trasa kroz naselje i ostalo (km)	0,069	0,483	0,187	0,261
		K46	Trasa kroz naselje (km)	0,069	0,483	0,187	0,261
			Trasa kroz šume, voćnjake i obradivo zemljište (km)	0,225	0,314	0,238	0,223
			Trasa kroz livade i pašnjake (km)	0,192	0,245	0,287	0,277
		K47	Spomenici kulture i arheološka nalazišta u zoni uticaja	0,160	0,319	0,277	0,244
			Trasa kroz naselje (km)	0,069	0,483	0,187	0,261
			Ostalo	0,207	0,274	0,266	0,253
		K48	Zaštićena prirodna dobra	0,194	0,242	0,323	0,242
			Zaštićena kulturna dobra	0,196	0,303	0,278	0,222
		K5	Socio-ekonomski	K51	Razvoj turizma (1-10)	0,207	0,241
K52	Razvoj poljoprivrede (1-10)			0,192	0,231	0,269	0,308
K53	Promena u strukturi zapošljavanja (1-10)			0,192	0,269	0,269	0,269
K54	Povećanje rentnog potencijala zemljišta (1-10)			0,192	0,269	0,269	0,269
K55	Izmena vrednosti nekretnina (1-10)			0,200	0,240	0,280	0,280
K56	Sprečavanje odliva stanovništva (1-10)			0,120	0,240	0,320	0,320
K57	Povećanje kvaliteta života (1-10)			0,214	0,214	0,286	0,286



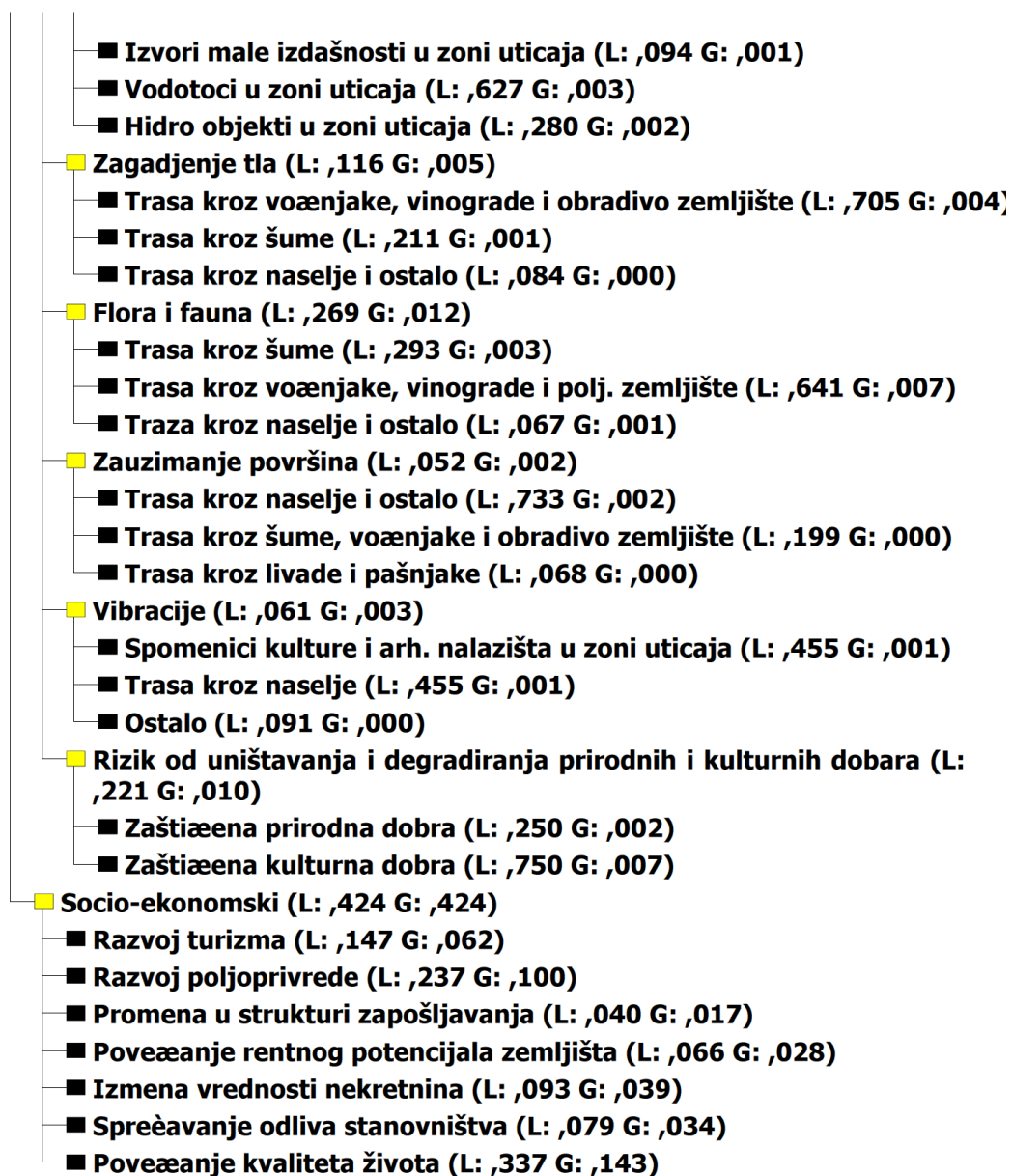
Na Slici 5.17 i Slici 5.18 data je hijerarhijska struktura problema odlučivanja u procesu odabira optimalnog rešenja koridora autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor III: Požega – Granica sa Crnom Gorom (Boljare). Pored svakog od kriterijuma i podkriterijuma, u zagradi su date po dve vrednosti. Prva vrednost, vrednost L, je lokalna važnost kriterijuma (podkriterijuma), odnosno, njegova važnost unutar grupe kojoj pripada. Druga vrednost, vrednost G, je globalna važnost svakog od kriterijuma (podkriterijuma), odnosno, njegova važnost u kompletoj hijerarhijskoj strukturi, a u odnosu na zadati cilj. Vrednosti su date kao sinteza rezultata svih učesnika u procesu odlučivanja.

Vrednost alternativa u odnosu na zadati cilj data je u posebnoj Tabeli na dnu hijerarhije (Slika 5.19). U konkretnom slučaju najveću vrednost (najveću važnost na ostvarivanje zadanog cilja) ima alternativna „Koridor Istok 1“ sa vrednošću 0,274.

Model Name: Korak 5



Slika 5.17: Hijerarhijska struktura razmatranog problema sa vrednostima kriterijuma (Deo 1)



Slika 5.18: Hijerarhijska struktura razmatranog problema sa vrednostima kriterijuma (Deo 2)

Na Slici 5.19, uoãava se da je znaãajno niŝom ocenom od ostale tri, rangirana alternativa Zapad. Posmatranjem globalne vaŝnosti pojedinih kriterijuma (Slike 5.17 i 5.18), uoãava se da medju kriterijumima najveću vaŝnost ima Socio-ekonomski kriterijum, dok su ispitanici najmanju vaŝnost dali Ekoloŝkom kriterijumu.

ZAPAD	,200
CENTAR	,261
ISTOK 1	,274
ISTOK 2	,265

Slika 5.19: Konaãne vrednosti (vaŝnosti) alternativa u odnosu na zadati cilj

Imajući u vidu da je podruãje prostiranja sve ãetiri alternative koridora predmetnog autoputa jedno od najsiromaŝnijih podruãja Republike Srbije, ãini se logiãnim da su ispitanici najviŝim ocenama vrednovali upravo Socio-ekonomski kriterijum. Ako se pogledaju lokalne vrednosti podkriterijuma unutar Socio-ekonomskog kriterijuma, primećuje se da su ispitanici najveću vaŝnost dali podkriterijumu Poveæanje kvaliteta ŝivljenja sa 0,337, zatim podkriterijumu Razvoj poljoprivrede sa 0,237, te Razvoj turizma sa 0,147. Analizirajući rezultate dobijene na

ovaj način i poznavajući situaciju na terenu, jasno se uočava da dobijeni rezultati, u relativno velikoj meri, realno odlikavaju želje, potrebe i očekivanja, kako donosioca odluke u procesu odlučivanja, tako i zainteresovanih aktera (stakeholdera). Oni su svoje želje, potrebe, očekivanja i bojazni izrazili kroz vrednovanje važnosti preliminarnog skupa kriterijuma putem sprovedene ankete.

Zanimljiva je činjenica da je Saobraćajno-eksploatacioni kriterijum takodje veoma nisko rangiran, odnosno, ocenjen kao kriterijum manje važnosti u odnosu na ostale. To pokazuje svesnost, kako anketiranih zainteresovanih aktera, tako i eksperata koji su učestvovali u grupnom odlučivanju u ovom koraku, da se ostvarivanjem Socio-ekonomskog prosperiteta i povećanjem kvaliteta života relativizuje važnost eksploatacionih troškova putnika. Takodje su pokazali svesnost da Ekonomski prosperitet i poboljšanje kvaliteta života nije moguće ostvariti bez znatnih ulaganja, pa su stoga i dali manju važnost investiciono-gradjevinskoj vrednosti koja je drugi kriterijum po važnosti.

I ako je Ekološki kriterijum ocenjen kao kriterijum najmanjeg prioriteta, zanimljivo je da su unutar njega najvećim prioritetom ocenjeni podkriterijumi Uticaj na floru i faunu i Rizik od uništavanja prirodnih i kulturnih dobara, a najmanjom ocenom Uticaj buke i vibracija. To govori da su ispitivani akteri spremni da, radi zajedničkog boljitka, žrtvuju deo svog ličnog mira i spokoja, odnosno, da će radije trpeti buku i vibracije nego dozvoliti uništavanje flore, faune, prirodnih i kulturnih dobara.

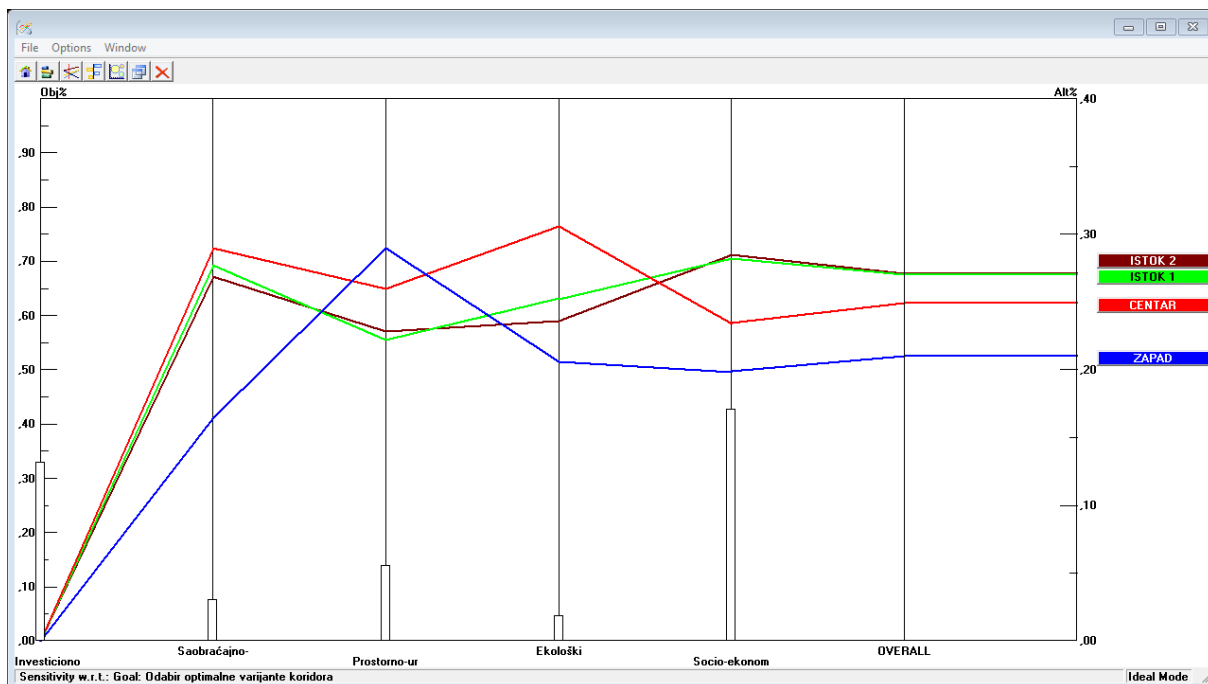
Interpretacijom dobijenih rezultata mogu se pratiti i drugi sociološki efekti proistekli iz sprovedenog procesa odlučivanja. Celokupni postupak i rezultati grupnog odlučivanja AHP metodom nalaze se u Prilogu 4 (izveštaj generisan od strane alata Expert Choice 11).

#### **5.3.2.5.4 Korak 5.4: Analiza osetljivosti**

U programskom alatu Expert Choice 11, rezultati se prikazuju i preko analize osjetljivosti. Kao što je već spomenuto, analiza osjetljivosti se sprovodi s ciljem da se vidi u kojoj meri se promene ulaznih podataka odražavaju na promene dobijenih rezultata. Može se pretpostaviti da procene donosioca odluke mogu varirati u nekim rasponima, a da te promene još uvek budu u skladu s preferencijama donosioca odluke. Da bi se došlo do zaključka da li je rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promene ulaznih podataka, preporučuje se provera prioriteta alternativa za različite kombinacije ulaznih podataka.

Alat Expert Choice 11 nudi pet opcija analize osjetljivosti: *Dynamic*, *Performance*, *Gradient*, *Head to head* i *2D*. Analiza se može izvesti iz cilja ili bilo kog drugog objekta u hijerarhiji. Analiza osjetljivosti iz čvora cilja pokazuje osjetljivost alternativa prema svim objektima u hijerarhijskom stablu.

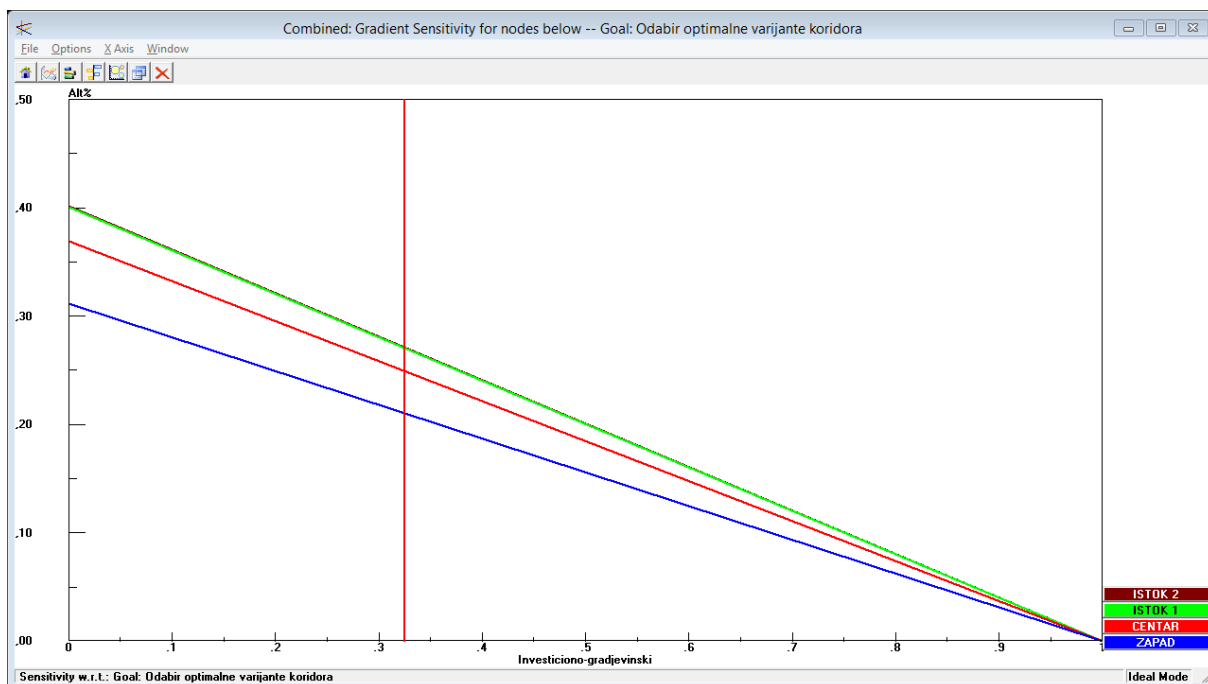
Analiza osjetljivosti – opcija *Performance* prikazuje prioritete alternativa, te ih stavlja u odnos sa težinama pojedinih objekata i/ili svim objektima zajedno. Simulacija se vrši na način da se menjanjem težina pojedinih objekata mogu posmatrati promene u prioritetima alternativa. Slika 5.20 prikazuje Analizu osjetljivosti – opciju *Performance* iz čvora cilja.



**Slika 5.20:** Analiza osjetljivosti - opcija Performance

Analiza osjetljivosti – opcija *Gradient* daje uvid u prioritete alternativa u odnosu na težinu jednog objekta (kriterijuma ili podkriterijuma). Ona omogućava analizu osjetljivosti prioriteta alternativa na promene težina pojedinih kriterijuma. Vertikalna linija na prikazima označava koeficijent važnosti za odabrani kriterijum. Slike 5.21 – 5.25 prikazuju Analizu osjetljivosti – opciju Gradient za sve kriterijume u modelu.

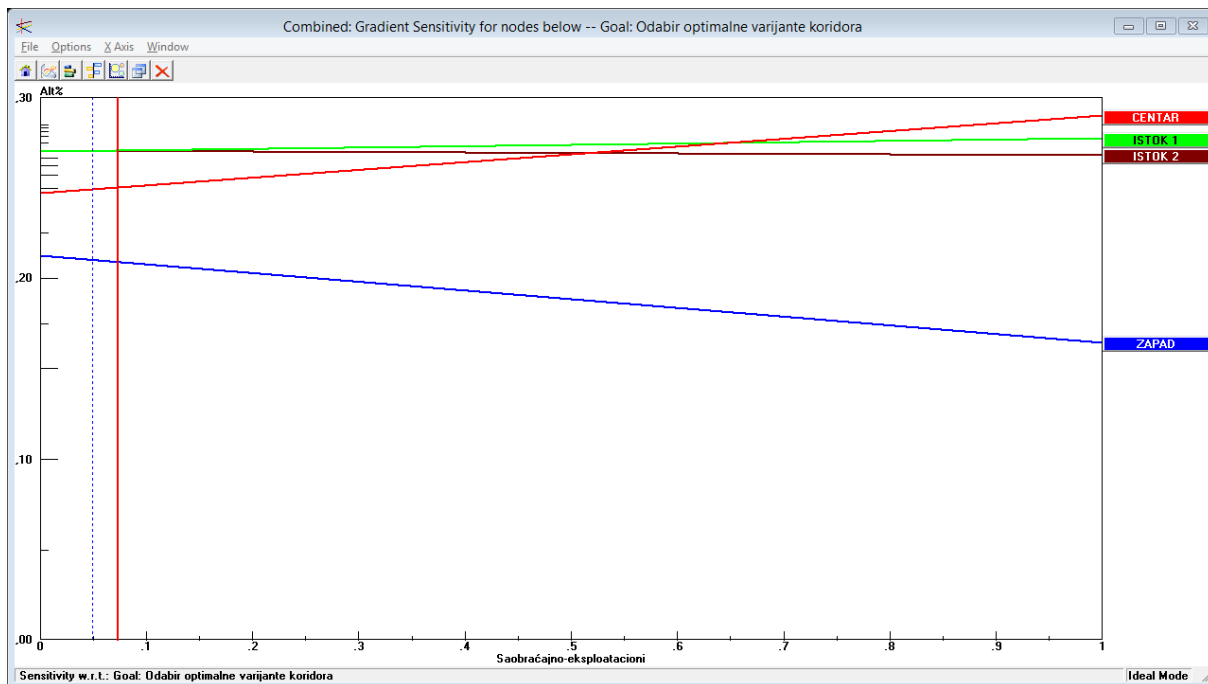
Sa Slike 5.21 se primećuje da porastom važnosti Investiciono-gradjevinskog kriterijuma opadaju važnosti svih alternativa, ali i da se smanjuje razlika u medjuodnosima izmedju alternativa.



**Slika 5.21:** Analiza osjetljivosti - opcija Gradient za Investiciono-gradjevinski kriterijum

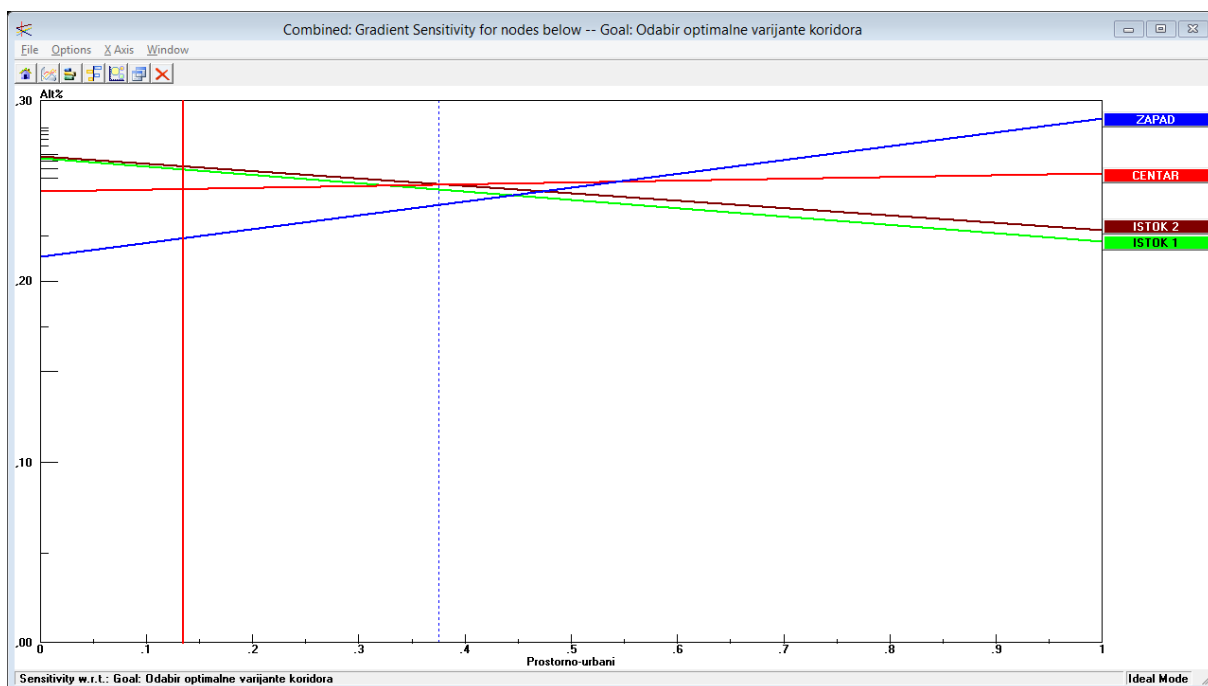
Porastom prioriteta Saobraćajno-eksploatacionog kriterijuma raste prioritet svih varijanti, osim varijante Zapad, čiji prioritet značajno opada. Porast važnosti ovog kriterijuma najviše utiče na porast važnosti alternative Centar. Važnost alternative Istok 1 takodje raste ali

veoma umereno, dok važnost alternative Istok 2 veoma lagano i beznačajno opada, što je vidljivo sa Slike 5.22.



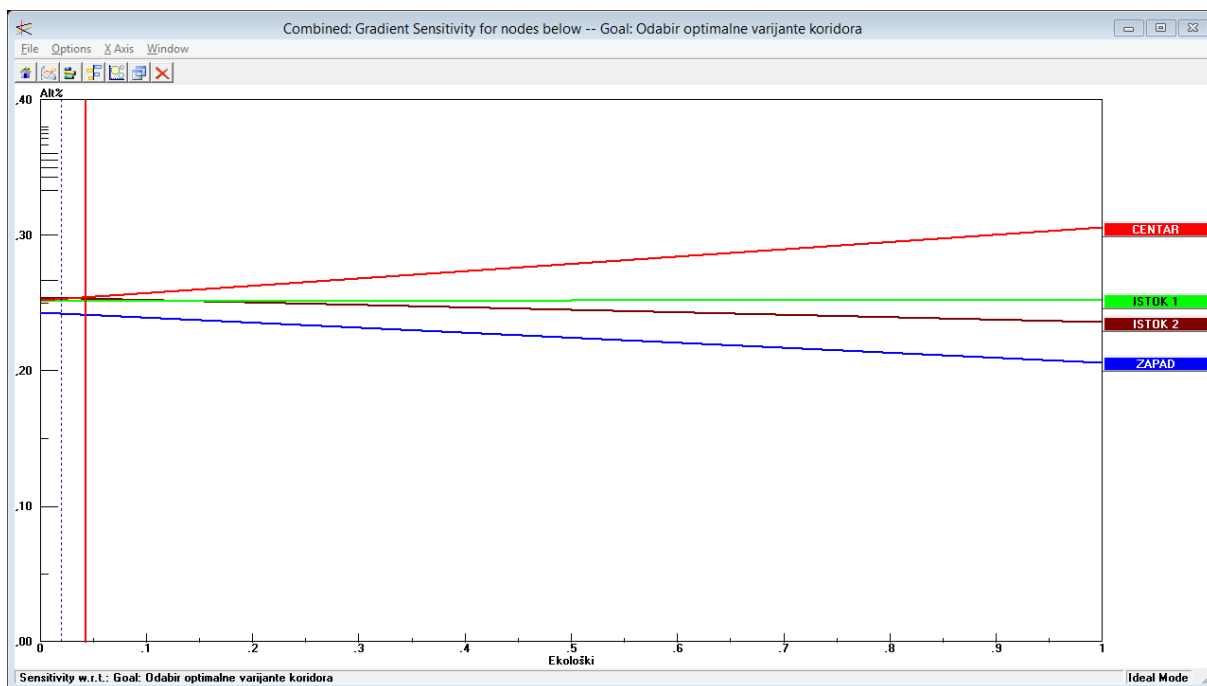
**Slika 5.22:** Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Saobraćajno-eksploatacioni kriterijum

Sa Slike 5.23 uočava se da porast prioriteta Prostorno-planskog kriterijuma ima najviše uticaja na porast prioriteta alternative Zapad, koja iz alternative sa najnižim postepeno prelazi u alternativu sa najvećim prioritetom, dok je kod alternative Istok 1 taj proces potpuno obrnut, odnosno, sa porastom prioriteta Prostorno-planskog kriterijuma značajno pada prioritet alternative Istok 1. Slična je situacija i kod alternative Istok 2, dok je alternativa Centar značajno neosetljivija na promenu prioriteta Prostorno-planskog kriterijuma.



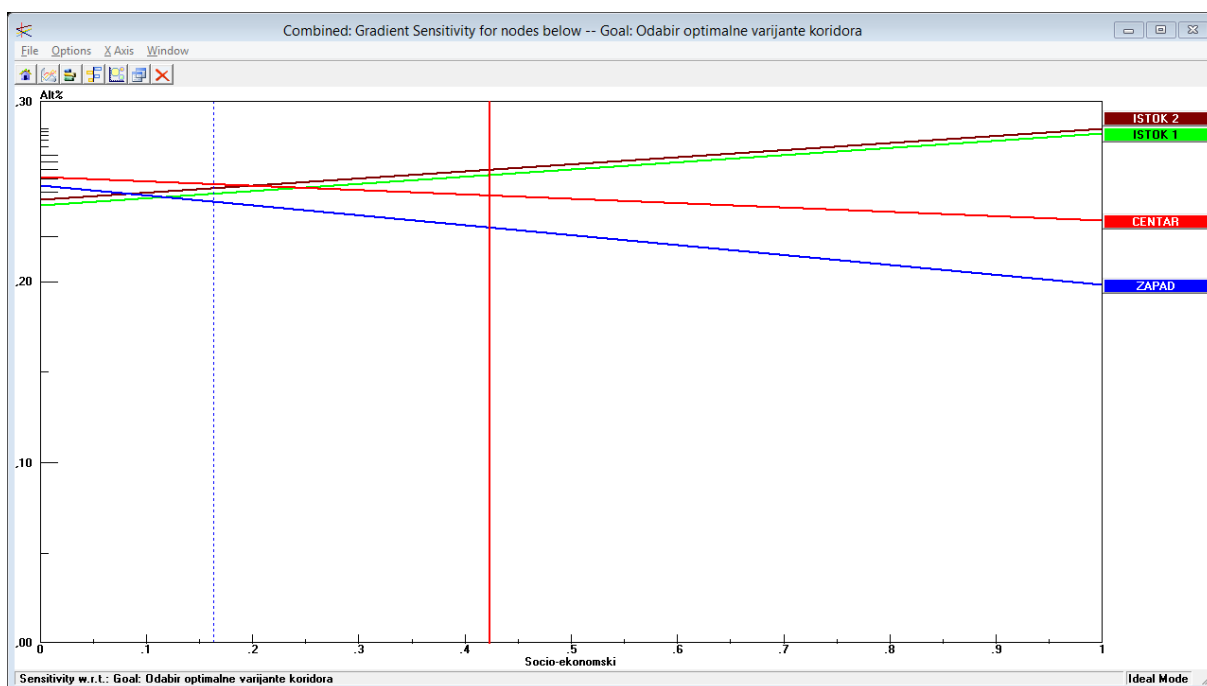
**Slika 5.23:** Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Prostorno-planski kriterijum

Najveću osetljivost na promenu prioriteta Ekološkog kriterijuma pokazuje alternativa Centar, čiji prioritet raste, zatim alternativa Zapad čiji prioritet opada, dok su alternative Istok 1 i Istok 2 skoro neosetljive na promenu prioriteta Ekološkog kriterijuma. Sa Slike 5.24 može se uočiti da bilo koja promena vrednosti Ekološkog kriterijuma apsolutno ne pokazuje nikakav uticaj na promenu prioriteta alternative Istok 1.



**Slika 5.24:** Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Ekološki kriterijum

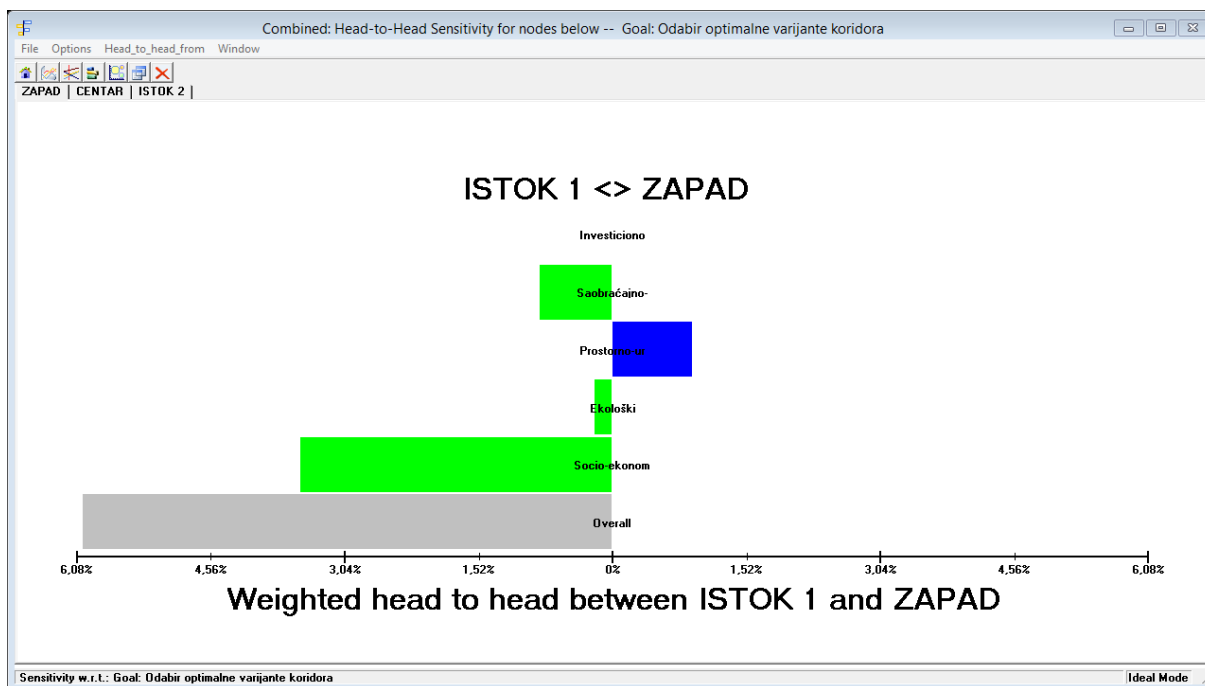
Na promenu prioriteta Socio-ekonomskog kriterijuma najviše su osetljive alternative Istok 1 i Istok 2, čiji prioritet značajno raste, dok prioritet alternative Centar opada. Značajniju osetljivost pokazuje i alternativa Zapad, čiji prioritet značajno pada, što je vidljivo sa Slike 5.25.



**Slika 5.25:** Analiza osetljivosti - opcija Gradient za Socio-ekonomski kriterijum

Analiza osetljivosti – opcija *Head to head* upoređuje dve alternative u odnosu na sve objekte. Jedna alternativa se prikazuje na levoj strani grafa, a druga na desnoj. Jednostavnim

korišćenjem opcija moguće je vizualizovati odnose razmatranih alternativa u svim parovima. Preko opcije *Head to head* na glavnoj alatnoj traci mogu se birati alternative za koje se želi videti analiza. Na Slici 5.26 prikazana je analiza osetljivosti - opcija *Head to head* za alternative Istok 1 (kao alternative sa najvećim prioritetom) i alternative Zapad (kao alternative sa najnižim prioritetom).

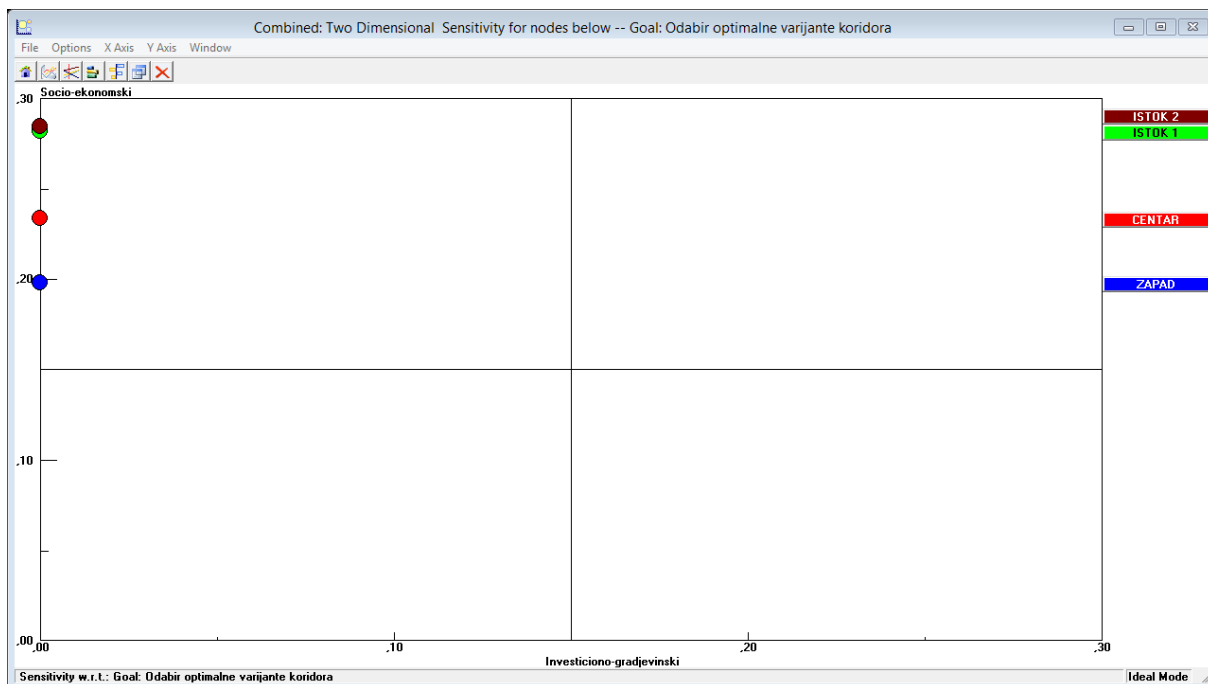


**Slika 5.26:** Analiza osetljivosti - opcija *Head to head* za par alternativa Istok 1 - Zapad

Sa Slike 5.26 uočava se da alternativa Istok 1 ima prednost nad alternativom Zapad po svim kriterijumima, osim Prostorno-planskog. Na slici se vidi i ukupna ponderisana prednost alternative Istok 1 koja iznosi 6,08

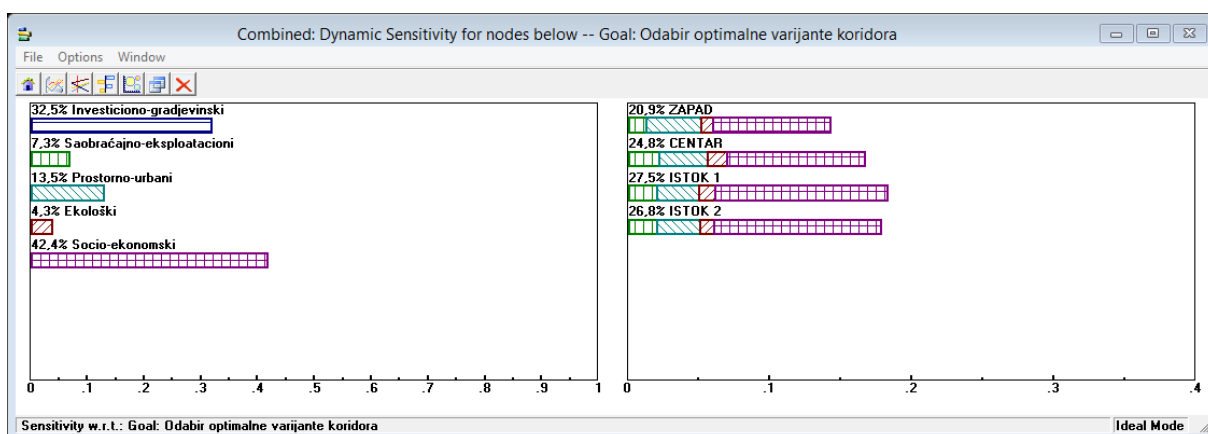
Analiza osjetljivosti – opcija *2D* izdvaja dva izabrana objekta (kriterijuma ili podkriterijuma) i stavlja ih u odnos s alternativama. Na svakoj osi grafa prikazan je po jedan kriterijum. Graf je podeljen na kvadrante te ona alternativa koja se nalazi u gornjem desnom kvadrantu ima najveći prioritet u odnosu na ta dva objekta. Alternative su prihvatljivije što su bliže tom kvadrantu.

Na Slici 5.27 prikazana je Analiza osetljivosti – opciju *2D* za par najznačajnijih kriterijuma (kriterijuma sa najvećim globalnim prioritetima), Socio-ekonomski i Investiciono-gradjevinski. Sa slike uočavamo da na osnovu ta dva kriterijuma, najveću važnost imaju alternative Istok 1 i Istok 2, dok alternative Centar i Zapad, i ako se nalaze i istok kvadrantu, imaju značano niži prioritet u odnosu na Istok 1 i Istok 2.



**Slika 5.27:** Analiza osjetljivosti - opcija 2D za par kriterijuma Socio-ekonomski i Gradjevinsko-investicioni

Preko analize osjetljivosti – opcije *Dynamic* moguće je videti kako se dinamički menjaju prioriteta alternativa ukoliko se menjaju težine pojedinih kriterijuma. Moguće je izvesti prikaz simulacije na svim nivoima u modelu. Ovaj tip analize osjetljivosti ima i opciju *Components* (Komponente) u kojoj je moguće videti učešće težina pojedinih kriterijuma u ukupnom prioritetu alternativa. Pomoću opcije *Dynamic* dobija se odgovor na pitanje: „Kolika bi trebala biti težina pojedinog kriterijuma da bi određena alternativa dobila prednost nad nekom drugom alternativom?“. Slika 5.28 prikazuje Analizu osjetljivosti – opciju *Dynamic* iz čvora cilja uz uključenu opciju *Components*.



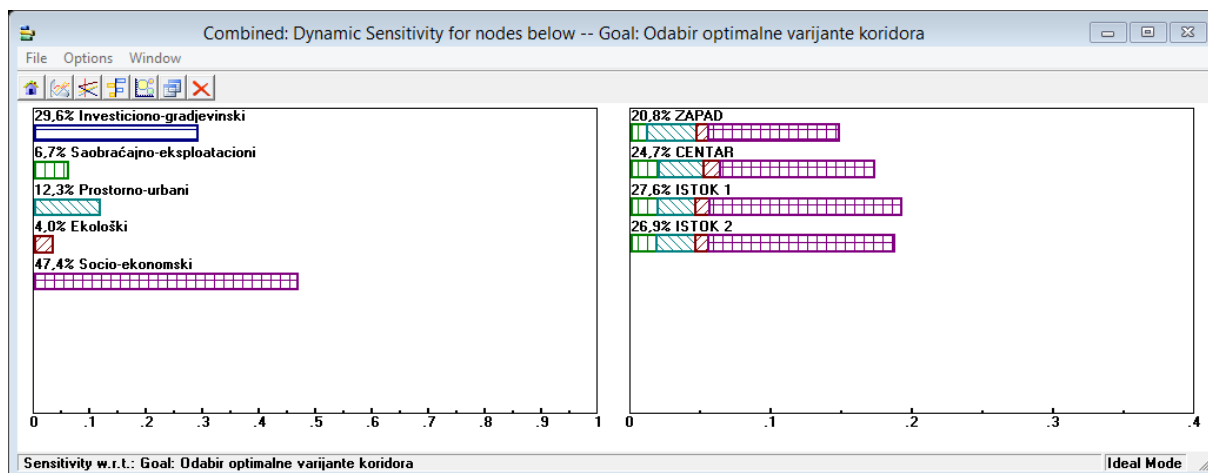
**Slika 5.28:** Analiza osjetljivosti – opcija *Dynamic* iz čvora cilja

Analiza osjetljivosti služi nam i za proveru da li nam je rezultat odlučivanja odnosno, rang alternativa dovoljno stabilan. Za proveru stabilnosti rezultata služi nam dinamička analiza osjetljivosti (opcija *Dynamic*). Ukoliko konačan rezultat ostaje isti uz variranje važnosti glavnih kriterija za 5% u svim kombinacijama, možemo zaključiti da je rezultat stabilan.

Slika 5.29 prikazuje jedan od scenarija u kojem je važnost Socio-ekonomskog kriterijuma, kao kriterijuma sa najvećim prioritetom, povećana za 5% (sa 42,4% na 47,4%). Na Slici vidimo da je rang alternativa ostao isti, s malom promenom u vrednostima prioriteta alternativa. U



odnosu na stanje pre promene, uočavamo da su alternative Istok 1 i Istok 2 dobile na značaju po 0,1%, dok su alternative Centar i Zapad izgubile na značaju isto toliko.



**Slika 5.29:** Analiza osetljivosti – opcija Dynamic iz čvora cilja, sa promenom prioriteta Socio-ekonomskog kriterijuma za 5%

Provođenjem dinamičke analize osetljivosti i varijacijom važnosti svih kriterija za 5% u svim kombinacijama, nije došlo do promene u rangiranju alternativa, te zaključujemo da je dobijeni rezultat stabilan.

### 5.3.2.6 Korak 6: Finalno odlučivanje

Posao analitičara (projektanta) u suštini se završava nakon sprovedenog Koraka 5 modela 3N-AHP. U ovom koraku, s obzirom na činjenicu da krajnje (finalno) rešenje usvaja vlasnik projekta, u ovom slučaju Vlada Republike Srbije preko nadležnog Ministarstva, zadatak analitičara je da pripremi detaljan i sveobuhvatan izveštaj sa svim potrebnim detaljima, kako bi krajnji donosilac odluke, na osnovu izvršenog rangiranja alternativa i drugih činilaca koji bi mogli uticati na njegov odabir, mogao doneti konačnu odluku.

Prednost alata Expert Choice 11 je što automatski priprema izveštaj sa svim bitnim detaljima o sprovedenom procesu odlučivanja. Izveštaj generisan od strane alata Expert Choice 11 nalazi se u Poglavlju Prilozi, kao Prilog 4.

### 5.3.3 Uporedna analiza dobijenih rezultata

Upoređivanje dobijenih rezultata primenom sva tri modela (metode SAW, metode PROMETHEE i modela 3N-AHP), sprovedena je isključivo sa ciljem testiranja modela 3N-AHP. Upoređivani su dobijeni rezultati koji se odnose na rang prioriteta alternativa. S obzirom da su modeli različiti, krajnji su rezultati prezentirani na različit način. Da bi se izvršilo međusobno poredjivanje, izvršena je normalizacija vrednosti prioriteta alternativa dobijenih po metodi SAW i metodi PROMETHEE, tako što su dobijene vrednosti prikazane na skali 0-1.

U Tabeli 5.15 prikazenu su izlazne vrednosti na način dobijen tokom primene modela, a u Tabeli 5.16 prikazane su normalizovane vrednosti na skali 0-1 za rezultate dobijene primenom sva tri modela. U Tabeli 5.17 date su zbirne vrednosti prioriteta alternativa na osnovu sva tri modela, dobijeni prostim sabiranjem pojedinačnih prioriteta iz Tabele 5.16. Na kraju, u Tabeli 5.18, date su normalizovane vrednosti prioriteta alternativa na osnovu sva tri modela vrednovanja, te na osnovu njih izvršeno rangiranje alternativa. Na osnovu zbirnih

rezultata vrednovanja dobijenih iz sva tri modela, najbolje rangirana alternative među četiri razmatrane, je alternativa Istok 1 sa ocenom 0,277. Najlošije je rangirana alternativa Zapad.

**Tabela 5.15:** Vrednosti prioriteta alternativa na osnovu sva tri modela

ALTERNATIVA	SAW	PROMETHEE	3N-AHP
ZAPAD	0,58676	35	0,200
CENTAR	0,89568	45	0,261
ISTOK 1	0,88902	52	0,274
ISTOK 2	0,86347	53	0,265

**Tabela 5.16:** Normalizovane vrednosti prioriteta alternativa na skali 0-1

ALTERNATIVA	SAW	PROMETHEE	3N-AHP
ZAPAD	0,181	0,189	0,200
CENTAR	0,277	0,243	0,261
ISTOK 1	0,275	0,281	0,274
ISTOK 2	0,267	0,286	0,265

**Tabela 5.17:** Zbirne vrednosti prioriteta alternativa na osnovu sva tri modela

ALTERNATIVA	UKUPAN PRIORITET
ZAPAD	0,570
CENTAR	0,781
ISTOK 1	0,830
ISTOK 2	0,818

**Tabela 5.18:** Rang alternativa na osnovu normalizovane vrednosti prioriteta

ALTERNATIVA	PRIORITET	RANG
ISTOK 1	0,277	1
ISTOK 2	0,273	2
CENTAR	0,260	3
ZAPAD	0,190	4

---

## ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Kao rezultat istraživanja sprovedenih u ovom radu, definisan je složeni model za vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja koridora linijskih infrastrukturnih objekata. Definisani model nastoji biti celovit i sveobuhvatan jer ga karakteriše višeakterski i višekriterijumski pristup rešavanju problema optimizacije koridora. Baziran je na kriterijumima vrednovanja čija je relevantnost verifikovana naučnim metodama i koji su razvrstani u pravilnu hijerarhiju. Model uspešno integriše metodu AHP, kao metodu „meke“ optimizacije, koja nije slučajno odabrana. Razlog njenog odabira nije njena eventualna jednostavnost i laka primene, niti činjenica da je u „trendu“. Metoda vrednovanja AHP odabrana je inteligentnim pristupom uz pomoć drveta odlučivanja. Model takodje predviđa i analizu osetljivosti odabranog alternativnog rešenja na promenu težina pojedinih (ili svih) kriterijuma vrednovanja, te time donosiocu odluke pomaže da stekne uvid u osetljivost odabranog rešenja.

Najvažnija slabost definisanog modela ogleda se u činjenici da odabrana metoda odlučivanja, i ako odabrana na inteligentan i naučno prihvatljiv način, ne tretira povratne, *feedback*, veze između važnosti kriterijuma i alternativa. Odabrana AHP metoda u obzir uzima samo važnost (odnosno, relativne težine) kriterijuma za odabir alternativa, ali ne preispituje važnost i uticaje odabranog alternativnog rešenja na relativne težine kriterijuma odlučivanja. Ovaj nedostatak modela proističe iz karakteristika koje se navode kao nedostaci AHP metode, te ni u kom slučaju ne umanjuje (ugrožava) valjanost i relevantnost definisanog složenog modela.

Naučni doprinos istraživanja ogleda se u primeni AHP metode, koja je u Srbiji po prvi put primenjena kao podrška odabiru optimalnog rešenja koridora infrastrukturnih objekata, kao i prikazanoj integraciji s drugim metodama (stakeholder analiza, anketa, deskriptivna statistika, faktorska analiza). Ovo je prvi put da se na ovakav način integriše šest relativno nezavisnih procesa, te da se njihovom integracijom obezbedi kvalitetno učešće svih zainteresovanih aktera, blagovremeno i svrsishodno. Po prvi put se za vrednovanje alternativa koridora koriste kriterijumi čija je relevantnost verifikovana naučnim metodama, te da se metodom VKA odabranom na inteligentan, naučno prihvatljiv način, vrši vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja. Na kraju se stabilnost odabranog rešenja proverava analizom osetljivosti na promenu uticaja pojedinih ili svih kriterijuma.

Mogućnost primena definisanog modela verifikovana je studijom konkretnog slučaja. S toga sa pravom može reći da će, kada je višekriterijumska analiza u pitanju, 3N-AHP model u budućnosti imati značajnu primenu u upravljanju izradom Generalnih projekta u oblasti infrastrukture, makar kao kvalitetna polazna osnova za dalju nadogradnju.

Nesumljiv naučni doprinos ovog rada, sam rad čini originalnim naučnim delom.

## 6.1 Zaključci

Tokom istraživanja došlo se i do sledećih zaključaka:

- Infrastrukturni linijski objekti i sistemi, i ako jako raznovrsni, imaju mnogo zajedničkih karakteristika na osnovu kojih je moguće razviti i primeniti jedinstveni model vrednovanja i rangiranja varijantnih rešenja njihovih koridora;
- Moguće je razviti matematički model linijskog infrastrukturnog objekta koji valjano opisuje realni sistem i takav model primeniti na rešavanje problema odabira optimalnog rešenja koridora linijskih objekata;
- Blagovremeno i svrsishodno uključivanje zainteresovanih aktera u proces odlučivanja, doprinosi boljem razumevanju kako samog problema odlučivanja, tako i procesu donošenja prihvatljive odluke za sve (ili makar većinu) zainteresovanih aktera;
- Postojeći modeli za vrednovanje i rangiranje alternativnih rešenja koridora linijskih objekata ne daju odgovor na dva najvažnija pitanja ovog procesa: koji su relevantni kriterijumi vrednovanja i ko su relevantni donosioci odluka u procesu;
- Ne postoji univerzalni skup relevantnih kriterijuma za odabir optimalnog varijantnog rešenja koridora, već se može definisati samo preliminarni skup kriterijuma odlučivanja čiju relevantnost je nužno verifikovati na naučno prihvatljiv način za svaki naredni projekat;
- Donosioc odluke siguran je da je doneo dobru odluku, odnosno, odabrao optimalno rešenje, samo ako analiza osetljivosti pokaže da je rešenje neosetljivo na promenu vrednosti nekih (ili svih) kriterijuma vrednovanja za više od 5%;
- Sprovedenom studijom slučaja verifikovana je validnost i praktična upotrebljivost složenog 3N-AHP model, razvijenog u ovom radu;
- Verifikacija validnosti modela pokazuje da je ispunje osnovni, ali i svi posebni ciljevi ovog istraživanja;
- Verifikacijom validnosti složenog 3N-AHP model, takodje su potvrđene sve polazne hipoteze istraživanja;
- Definisani složeni model će sigurno naći praktičnu primenu u procesu planiranja i projektovanja infrastrukturnih objekata jer po prvi puta daje odgovor na dva najvažnija pitanja u procesu odlučivanja: ko je relevantan donosioc odluke (u slučajevima kad to nije decidno precizirano odredjenim obavezujućim propisom) i koji su kriterijumi relevantni da bi doneta odluka uistinu i bila najbolja.

## 6.2 Pravci daljih istraživanja

Definisani model je veoma fleksibilan i primenjiv na većinu infrastrukturnih linijskih objekata. On tretira vrednovanje i rangiranja varijantnih rešenja koridora infrastrukturnih objekata,

kao druge od ukupno tri faze njihovog projektovanja. Model bi trebao poslužiti kao polazna osnova za formiranje celovitog i sveobuhvatnog modela za projektovanje infrastrukturnih objekata na nivou Generalnog projekta.

Nastavak istraživanja vezanih za problematiku kojom se bavi ovaj rad može se odvijati u sledećim pravcima:

- pokretanje aktivnosti na verifikaciji modela na većem broju različitih vrsta infrastrukturnih objekata,
- određivanje skupova preliminarnih kriterijuma za svaku vrstu infrastrukturnih objekata ponaosob,
- definisanje metode vrednovanja i rangiranja koja bi u obzir uzimala i uticaj „povratne veze“ odabira alternativa na težinsku vrednost kriterijuma i
- implementacija definisanog modela u procesu projektovanja infrastrukturnih objekata.

## LITERATURA

- [1] Abramović, I.: Teorija rizika i metode odlučivanja, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, 1980.
- [2] Aczel, J., Alsina, C.: On synthesis of judgments, *Social-Economic Planning Sciences*, 20:333-339, 1986.
- [3] Aczel, J., Saaty, T. L.: Procedures for synthesizing ratio judgment, *Journal of Mathematical Psychology*, 27:93-102, 1983.
- [4] Alphonse, C. B.: Application of the Analytic Hierarchy Process in agriculture in developing countries, *Agricultural Systems*, 53, 97-112, 1997.
- [5] Andjus, V. i dr.: Metodologija projektovanja rekonstrukcije puteva, Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2001.
- [6] Andjus, V., Maletin, M.: Metodologija planiranja i projektovanja puteva, značajan segment održivog razvoja Srbije, Naučni skup održivi prostorni, urbani i ruralni razvoj Srbije, IAUS 1954-2004, Zbornik radova, Narodna biblioteka Srbije, Beograd, 6-7. decembar 2004.
- [7] Andjus, V., Maletin, M.: Metodologija projektovanja puteva, Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1993.
- [8] Andjus, V.: O infrastrukturi uopšte i putevima posebno, Planiranje i realizacija infrastrukture, Kragujevac, 9-11. jun 2004.
- [9] Bayazit, O.: Use of AHP in decision-making for flexible manufacturing systems, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 16, No. 7, 2005.
- [10] Begičević, N.: Višekriterijumski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja, Doktorska disertacija - autorski reprint, Varaždin, 2008.
- [11] Belka, K. M.: Multicriteria analysis and GIS application in the selection of sustainable motorway corridor, Master teza – autorski reprint, ISRN-LIU-IDA-D20--05/019—SE, 2005.
- [12] Belton, V.: A comparison of the Analytic Hierarchy Process and a simple multiattribute value function, *European Journal of Operational Research* 26, pp. 7-21, 1986.

- [13] Brans, J. P. A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis, Operational Research '84, North Holland, 1984.
- [14] Čičak, M.: Simulacije u prometu, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [15] Čupić, M., Novaković, T., Svilar, M.: Generatori i aplikacije sistema za podršku odlučivanju, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
- [16] Čupić, M., Suknović, M.: Višekriterijumsko odlučivanje – metode i primeri, Univerzitet „Braća Karić“, Beograd, 1995.
- [17] Čupić, M.: Uvod u teoriju odlučivanja, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
- [18] Demircan, S.: Çoklu etmenler kullanılarak enerji nakil hattı güzergâh optimizasyonu, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009.
- [19] Djorović, B.: Novi pristupi u projektovanju strukture organa upravljanja u saobraćajnoj službi, Vojnotehnički glasnik, 2004, vol. 52, br. 5, str. 497-507
- [20] Dyer, F. R.: Remarks on the Analytic Hierarchy Process, Management Science 36 (3), pp. 249-258, 1990.
- [21] Fiala, P.: Strategic revenue management, Strategic Management, 2011, vol. 16, br. 2, str. 37-45,
- [22] Fishburn, P. C.: Utility Theory Predecision-Making, Wiley, New York, 1970.
- [23] Fishburn, P., Lavallo, I.: MCDA: Theory, Practice and the Future, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Vol. 8, 1999.
- [24] Forman, E., Selly, M. A.: Decision By Objectives (How to convince others that you are right), Expert Choice Inc., 2007., <<http://www.expertchoice.com/assets/dbo/chapter4.pdf>>
- [25] Forman, E., Peniwati, K.: Aggregating Individual Judgments And Priorities With the Analytic Hierarchy Process, European Journal of Research, Vol. 108, 1998.
- [26] Fowler, H. W., Fowler, F. G., Crystal, D.: The Concise Oxford Dictionary, ISBN: 978-0-19-969612-3, 2011
- [27] Frei, F., Kalakota, R., Leone, A., Marx, L.: Process Variation as a Determinant of the Bank Performance: Evidence from the Retail Banking Study, Management Science, Vol. 45, No 9, 1999.
- [28] Fulgosi, A.: Faktorska analiza, Školska knjiga, Zagreb, 1988.
- [29] Grubišić, I.: Analytical hierarchy process and analytical network process as techniques for modern decision-making Communications in Dependability and Quality Management, Strategic Management, 2008, vol. 11, br. 1, str. 40-51,
- [30] Hamalainen, R. P.: Reversing the Perspective on the Applications of Decision Analysis, Decision Analysis, Vol. 1, No.1, March 2004.
- [31] Harker, P. T., Vargas, L. G.: The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process, Management Science, 1987.; 33(1):1383-403.

- [32] Ho, W.: Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review, *European Journal of Operational Research* 186 (2008), pp. 211-228., 2008.
- [33] Hwang C. L., Yoon, K.: *Multiple Attribute Decision Making*, Springer Verlag, New York, 1981.
- [34] Janković, M.: *Upravljanje ključnim učesnicima*, Smart Day, Beograd, 2010
- [35] Janjić, S.: *Železničke stanice I*, Gradjevinski Fakultet Beograd, Beograd 1983.
- [36] Jusufrić, I.: *Osnove drumskog saobraćaja*, Saobraćajni fakultet Internacionalnog univerziteta u Travniku, Travnik, 2007.
- [37] Karlsson, J., Wohlin, C., Regnell, B.: An evaluation of methods for prioritizing software requirements, *Information and Software Technology*, 39 (14-15), 939-947, 1998.
- [38] Kiker, G., Bridges, T., Varghese, A., Seager, T.: *Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making*, *Integrated Environmental Assessment and Management* — Volume 1, Number 2 — pp. 95–108, 2005.
- [39] Kosijer, M., Ivić, M., Marković, M., Belošević, I.: Višekriterijsko odlučivanje u planiranju i projektiranju trase željezničke pruge, *Gradjevinar* 64 (2012) 3, 195-205,
- [40] Kurepa, S.: *Matematička analiza 1*, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [41] Kuzović, Lj.: *Vrednovanje u optimiziranju planova i projekata puteva*, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 1984.
- [42] Lisboa, M. V., Waisman, J.: Multicriteria analysis in the selection of urban highway alignment alternatives with application of the analytic hierarchy process: An environmentally sustainable approach, *WIT Transactions on The Built Environment*, Vol 89, 2006.,
- [43] Lootsma, F. A.: *Scale sensitivity and rank preservation in a multiplicative variant of the AHP and Smart*, Report 91-67, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 1991.
- [44] Macharis, C. *Multi-criteria Analysis as a Tool to Include Stakeholders in Project Evaluation: The MAMCA Method*, in Haezendonck, E. (Ed.), 2007, *Transport Project Evaluation: Extending the Social Cost–Benefit Approach*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 115-131.
- [45] Maletin, M.: *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*, Orion-Art, Beograd, 2009
- [46] Marković, P.: Primena analitičkog mrežnog procesa u predviđanju prodaje automobila Fiat 500L, *Ekonomski horizonti*, 2012, vol. 14, br. 3, str. 165-176
- [47] Maureen, L.: *Incorporating environmental impacts into Multi-objective optimization of water distribution systems*, Magistarska teza – autorski reprint, Herstein, Kingston, 2009.
- [48] Mu, E.: *The First Ten Years of Using The Analytic Network Process (ANP): A Literature Review*, Invited Paper, The Institute for Operations Research and Management



- Science, INFORMS (Institute for Operations Research and the Management Sciences), Annual Meeting, Pittsburgh, November 2006.
- [49] Murat, Y. Ş., Kulak, O.: Ulaşım ağlarında bilgi aksiyomu kullanılarak güzergah (rota) seçimi, *Journal of engineering sciences*, Pamukkale Üniversitesi, 2005, 11-3, 425-435
- [50] Narasimhan, R.: An Analytical Approach to Supplier Selection, *Purchasing and Materials Management*, 19(1), 27-32, 1983.
- [51] Neralić L.: Uvod u matematičko programiranje 1, Element, Zagreb, 2003.
- [52] Nikolić, I., Borović, S.: Višekriterijumska optimizacija – metode, primena u logistici, softver, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1996.)
- [53] Nikolić, I., Borović, S.: Višekriterijumska optimizacija, CVŠ VJ, Beograd, 1996.
- [54] Opricović, S.: Optimizacija sistema, Gradjevinska knjiga - Nauka, Beograd, 1992.
- [55] Opricović, S.: Višekriterijumska optimizacija sistema u gradjevinarstvu, Gradjevinski fakultet, Beograd, 1998.
- [56] Petrić, J.: Operaciona istraživanja, Nauka, Beograd, 1996.
- [57] Piantanakulchai, M.: Analytic Network Process Model For Highway Corridor, ISAHP 2005, Honolulu, Hawaii, July 8-10, 2005
- [58] Poletan, T.: Višekriterijska analiza u valoriziranju paneuropskog kordidora V<sub>B</sub>, 302. Pomorstvo, god. 19. (2005), str. 302-306
- [59] Pršić, M.: Hidrotehničke gradjevine, Gradjevinski fakultet u Zagrabu, 2013.
- [60] Puška, A.: Rangiranje investicionih projekata korišćenjem Vikor metode, *Singidunum revija*, 2011, 8 (2): 33-39,
- [61] Saaty, R., William, A., Super Decisions Software, Creative Decisions Foundation, academic use <<http://www.superdecisions.com>>, 2005.
- [62] Saaty, T. L., Kearns, P., K.: Analytical Planning, The Organization of Systems, The Analytic Hierarchy Process Series, Vol. IV, RWS Publications, 1991.
- [63] Saaty, T. L., Özdemir, M.: The Encyclicon; a Dictionary of Applications of Decision Making with Dependence and Feedback based on the Analytic Network Process, RWS Publications, 2005a.
- [64] Saaty, T. L., Peniwati, K.: Group Decision Making: Drawing Out and Reconciling Differences, RWS Publications, Pittsburgh, 2008
- [65] Saaty, T. L., Shang, J. S.: Group Decision Making: Head-Count versus Intensity of Preference, *Socio-Economic Planning Sciences* 41, pp. 22-37, 2007.
- [66] Saaty, T. L., Vargas, L., G.: Decision Making with the Analytic Network Process Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks, Springer US, USA, 2006.
- [67] Saaty, T. L.: A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15 (3), pp. 234–281, 1977.

- [68] Saaty, T. L.: *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, 4922 Ellsworth Ave., Pittsburgh, PA 15213, 1980.
- [69] Saaty, T. L.: *Online Course Materials: Decision Making in Complex Environment*, Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, Pittsburgh, SAD, 2008.
- [70] Saaty, T. L.: *The Analytic Network Process (ANP) for Decision Making and Forecasting with Dependence and Feedback*, 2005b.
- [71] Saaty, T. L.: *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*, RWS Publications, Pittsburgh, 2005c.
- [72] Saaty, T. L.: *Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables*, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 46, Issues 7-8, October 2007, pp. 860-891, 2007.
- [73] Salo, A. A., Hamalainen, R. P.: *On the measurement of preferences in the Analytic Hierarchy Process*, *Journal of Multiple Criteria Decision Analysis* 6, pp. 309-319, 1999.
- [74] Saobraćajni institut CIP, *Generalni projekat autoputa Banja Luka – Doboje, od čvora "Mahovljani" (na autoputu E-661) do veze sa autoputem na koridoru Vc*, Knjiga 1: *Projekat trase*, Sveska 4: *Vrednovanje i izbor optimalnog koridora*, Beograd, 2005.
- [75] Saobraćajni institut CIP, *Generalni projekat autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor III: Požega – Granica sa Crnom Gorom (Boljare)*, Knjiga 6: *Vrednovanje i rangiranje varijanti koridora*, Beograd, 2008.
- [76] Schoemaker, P. J., Waid, C. C.: *An experimental comparison of different approaches to determining weights in additive utility models*, *Management Science*, 28(2), 182-196, 1982.
- [77] Schoner, B., Wedley, W. C., Choo, E. C.: *A unified approach to AHP with linking pins*, *European Journal of Operational Research* 66 (3), pp. 291-304, 1993.
- [78] Schoner, B., Wedley, W. C.: *Ambiguous criteria weights in AHP: consequences and solutions*, *Decision Sciences* 20, pp. 462-475, 1989.
- [79] Srdjević, B.: *Metodi i rešenja višekriterijumske analize u poljoprivredi*, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 2003, *Agroekonomika* 32, 307-312
- [80] Stanić, B.: *Saobraćajno projektovanje*, Saobraćajni fakultet u Beogradu, 2013.
- [81] Tabucanon, M. T.: *Multiple Criteria Decision Making in Industry*, Elsevier, Amsterdam, 1988.
- [82] Tepeš, B.: *Deskriptivna statistika*, Predavanja na Filozofskom fakultetu, Zagreb, 2004.
- [83] Toraman, D.: *Mekansal çok ölçütlü karar analizi: Ulastirma için güzergah seçenekleri*, *Magistarska teza – autorski reprint*. Istanbul Teknik Üniversitesi, Istanbul, 2009.,
- [84] Triantaphyllou, E.: *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2000.
- [85] Tunalioglu, N., Öcalan, T.: *Üç boyutlu karayolu güzârgah optimizasyonunda karar destek sistemi olarak genetik algoritmaların kullanımı*, *TMMOB Harita ve Kadastro*

Mühendisleri Odasi, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay, 2- 6 april 2007, Ankara

- [86] Vaidya, O. S., Kumar, S.: Analytic hierarchy process: An overview of applications, *European Journal of Operational Research*, 169 (2006) pp. 1–29, 2006.
- [87] Velika opšta ilustrovana enciklopedija LAROUSSE, Vulkan, Beograd, 2011
- [88] Vincke, Ph.: *Multicriteria Decision-Aid*, John Wiley & Sons, Chichester, 1992.
- [89] Vujošević, M.: *Uvod u optimizaciju*, FON Beograd, 2012.
- [90] Vuković, Ž.: *Opskrba vodom i odvodnja I*, Skripta sa predavanja, Gradjevinski fakultet Zagrebu, 2013.
- [91] Whitaker, R.: Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 46, Issues 7-8, October 2007, pp. 840-859
- [92] Yakar, F.: *Karayolu güzergâh tespitinde çevresel kriterlere de yer veren coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çok kriterli bir model önerisi*, Doktorska disertacija – autorski reprint, Trabzon, 2011.
- [93] Zakonom o planiranju i izgradnji („Službeni glasnik Republike Srbije“, broj 72/2009, 81/2009, 64/2010 i 24/2011),
- [94] Zakonom o putevima („Službeni glasnik Republike Srbije“, broj 72/2009, 81/2009, 64/2010 i 24/2011),
- [95] Zelenović Vasiljević, T.: *Primena GIS-a, analitičkog hijerarhijskog procesa i fazi logike pri izboru lokacija regionalnih deponija i transfer stanica*, Doktorska disertacija – autorski reprint, Novi Sad, 2011.
- [96] Zeleny, M.: *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw – Hill, New York, 1992.

## PRILOG I

## ANKETNI LIST

Ova anketa je deo istraživanja koje se sprovodi u okviru izrade doktorske disertacije pod nazivom "UPRAVLJANJE IZRADOM GENERALNIH PROJEKATA U OBLASTI INFRASTRUKTURE PRIMENOM VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE" na kojoj radi kandidat mr. Izet Hot, dipl.ing.gradj.

Tema je prijavljena i odobrena na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu.

Rezultati ankete će se koristiti isključivo u naučne svrhe, pa je svaki doprinos ovom istraživanju neprocenjiv.

**Anketa je anonimna.**

**UPUTSTVO:** Pred sobom imate listu pitanja koju treba pažljivo da pročitate i odgovorite tako što ćete jedan od ponudjenih odgovora precrtati znakom X ili znak X upisati u polje sa po vama najpreciznijim odgovorima (skala od 1 do 5), ili pak na predvidjenoj liniji upisati traženi odgovor.

*Vrednosti u narednim tabelama:*

*1 – potpuno nevažan, 2 – malo važan, 3 – važan, 4 – prilično važan, 5 – jako važan*

***Unapred se zahvaljujemo na saradnji!***

1. Pol:                    M                    Ž
2. Uzrast:                a) do 29 godina    b) 30-44            c) 45-59    d) 60+
3. Stručna sprema: a) osnovna škola    b) srednja škola    c) fakultet    d) master    e) doktorat
4. Institucija gde radite: \_\_\_\_\_

5. Molimo Vas da svaki od sledećih kriterijuma ocenite ocenom od 1-5 po važnosti.

(1 – potpuno nevažan, 2 – malo važan, 3 – važan, 4 – prilično važan, 5 – jako važan)

Kriterijumi i podkriterijumi					
K1 - Investiciono-gradjevinski kriterijum	1	2	3	4	5
K2 - Saobraćajno-eksploatacioni kriterijum	1	2	3	4	5
K21 - Godišnji eksploatacioni troškovi korisnika	1	2	3	4	5
K22 - Broj saobraćajnih nezgoda	1	2	3	4	5
K23 - Troškovi nezgoda	1	2	3	4	5
K24 - Godišnje vreme putovanja putnika	1	2	3	4	5
K3 - Prostorno-urbani kriterijum	1	2	3	4	5
K31 - Prostorni sukob sa postojećom namenom površina	1	2	3	4	5
K32 - Prostorni sukob sa planiranom namenom površina	1	2	3	4	5
K33 - Mogućnost budućeg uredjenja prostora	1	2	3	4	5
K34 - Funkcionalnost povezivanja i aktiviranja razvojnih potencijala	1	2	3	4	5
K4 - Ekološki kriterijum	1	2	3	4	5
K41 - Buka	1	2	3	4	5
K42 - Aerozagadjenje	1	2	3	4	5
K43 - Zagadjenje voda	1	2	3	4	5
K44 - Zagadjenje tla	1	2	3	4	5
K45 - Flora i fauna	1	2	3	4	5
K46 - Zauzimanje površina	1	2	3	4	5
K47 - Vibracije	1	2	3	4	5
K48 - Rizik od uništavanja ili degradiranja prirodnih i kulturnih	1	2	3	4	5
K5 - Socio-ekonomski kriterijum	1	2	3	4	5
K51 - Razvoj turizma	1	2	3	4	5
K52 - Razvoj poljoprivrede	1	2	3	4	5
K53 - Promena u strukturi zapošljavanja	1	2	3	4	5
K54 - Povećanje rentnog potencijala zemljišta	1	2	3	4	5
K55 - Izmena vrednosti nekretnina	1	2	3	4	5
K56 - Sprečavanje odliva stanovništva	1	2	3	4	5
K57 - Povećanje kvaliteta života	1	2	3	4	5
K6 - Navedite i ocenite još neke kriterijume (podkriterijume) koje smatrate relevantnim:					
K61 -	1	2	3	4	5
K62 -	1	2	3	4	5
K63 -	1	2	3	4	5
K64 -	1	2	3	4	5

## PRILOG II

### STATISTIČKI POKAZATELJI DEMOGRAFSKIH KARAKTERISTIKA ISPITANIKA

FREQUENCIES VARIABLES=Pol Uzrast Obrazovanje Institucija  
 /PIECHART PERCENT, /FORMAT=DFREQ, /ORDER=ANALYSIS.

#### Frequencies

Statistics

		Pol	Uzrast	Obrazovanje	Institucija zapolenja
N	Valid	60	60	60	60
	Missing	0	0	0	0

#### Frequency Table

Pol

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	muški	42	70.0	70.0	70.0
	ženski	18	30.0	30.0	100.0
	Total	60	100.0	100.0	

Uzrast

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	45-59	27	45.0	45.0	45.0
	do 29	24	40.0	40.0	85.0
	30-44	6	10.0	10.0	95.0
	preko 60	3	5.0	5.0	100.0
	Total	60	100.0	100.0	

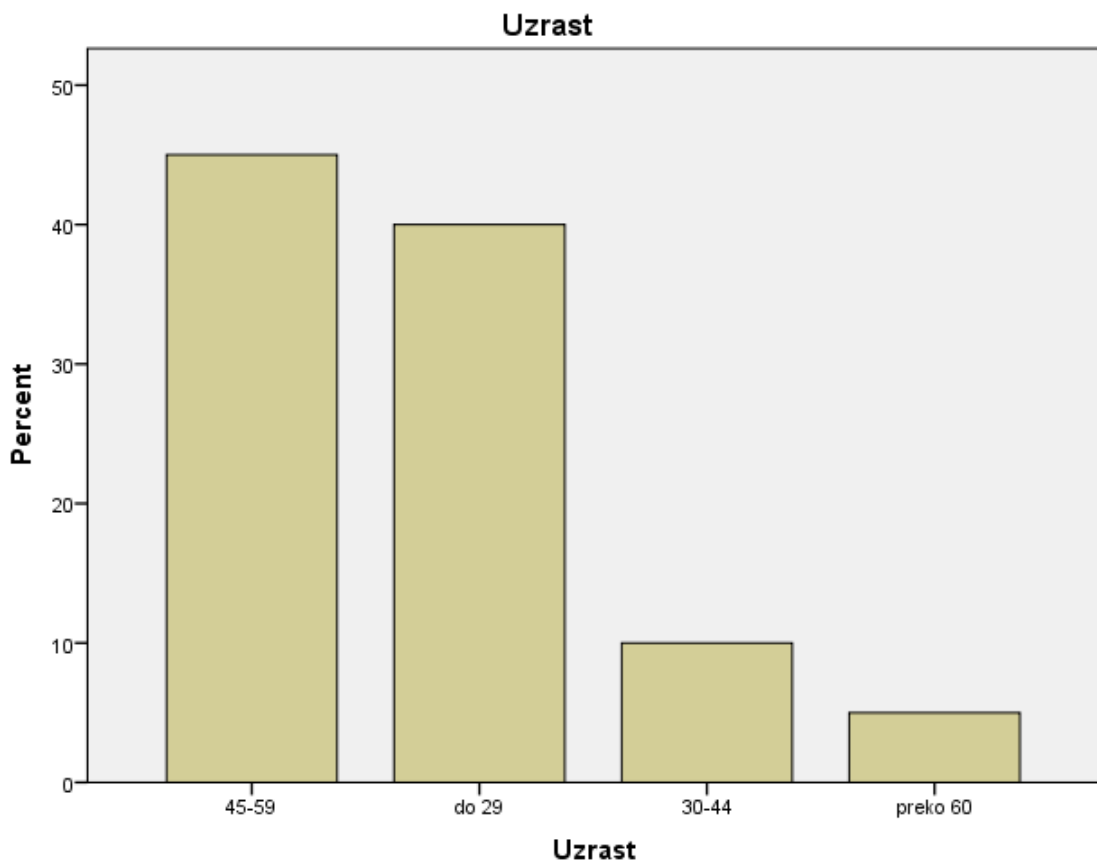
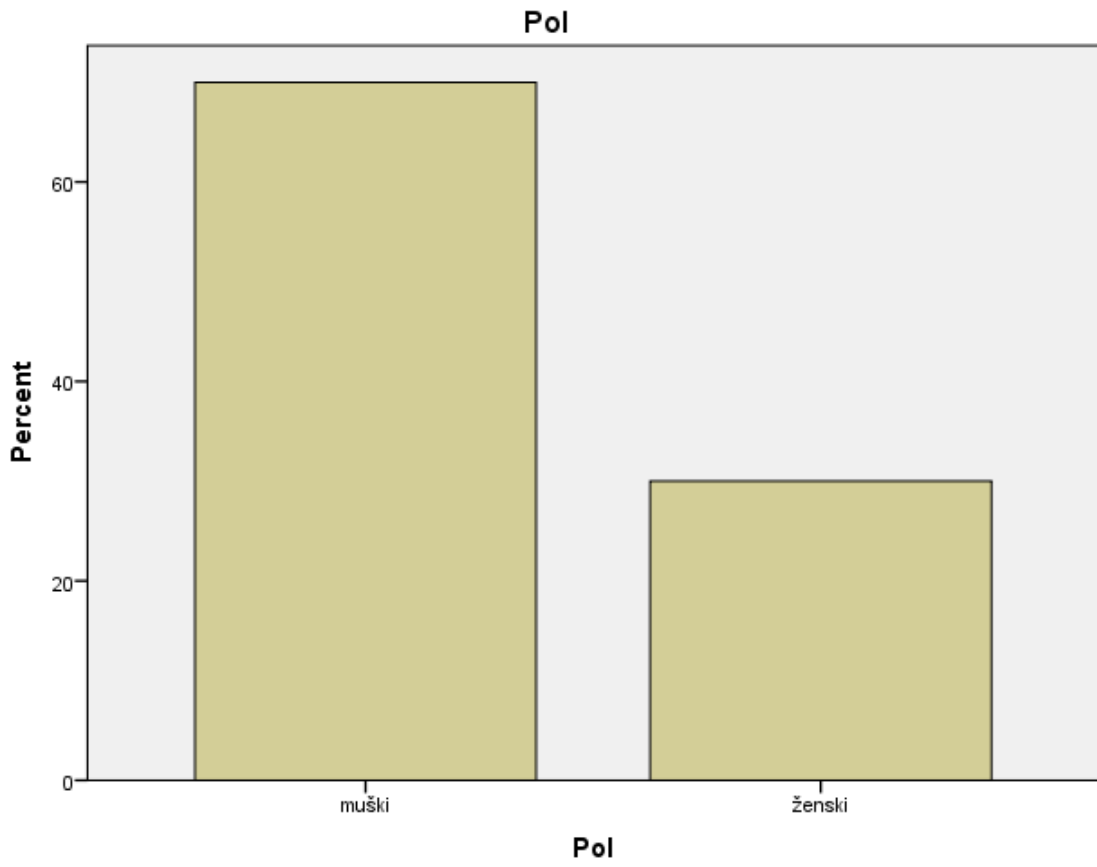
### Obrazovanje

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	fakultet	23	38.3	38.3	38.3
	master	18	30.0	30.0	68.3
	srednja skola	13	21.7	21.7	90.0
	doktorat	6	10.0	10.0	100.0
	Total	60	100.0	100.0	

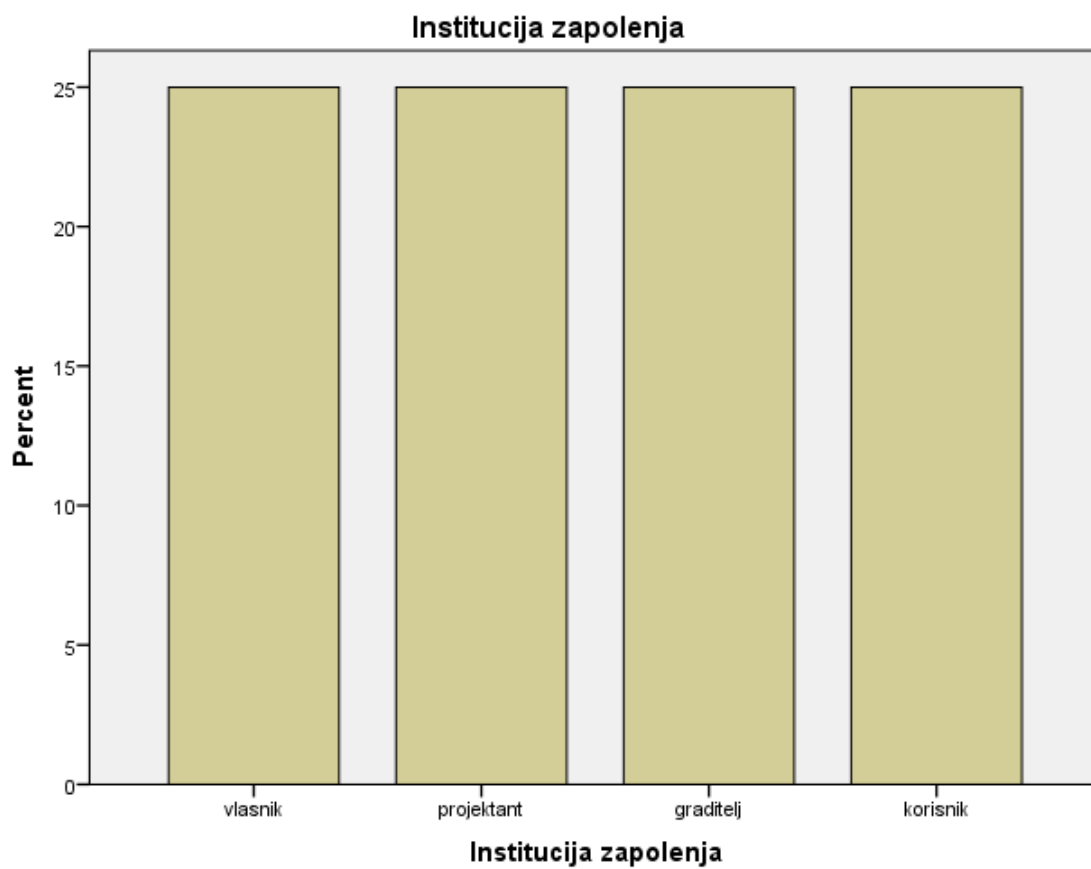
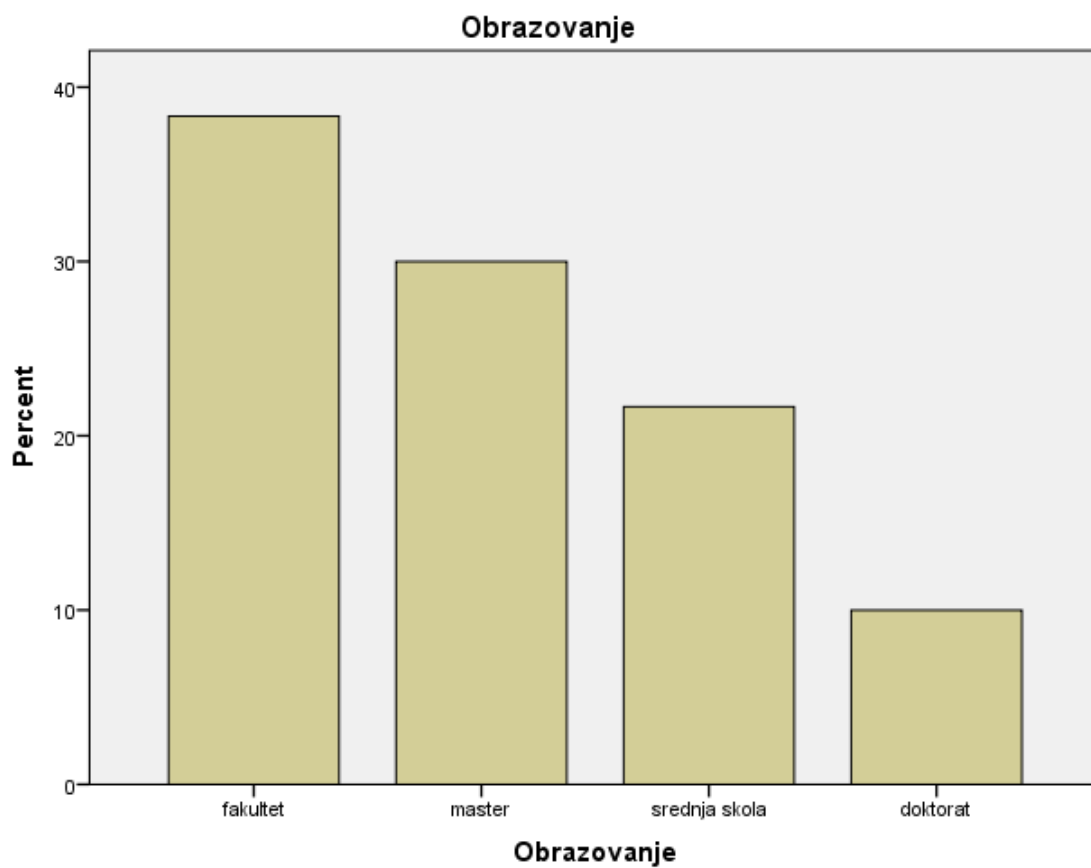
### Institucija zapolenja

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	vlasnik	15	25.0	25.0	25.0
	projektant	15	25.0	25.0	50.0
	graditelj	15	25.0	25.0	75.0
	korisnik	15	25.0	25.0	100.0
	Total	60	100.0	100.0	

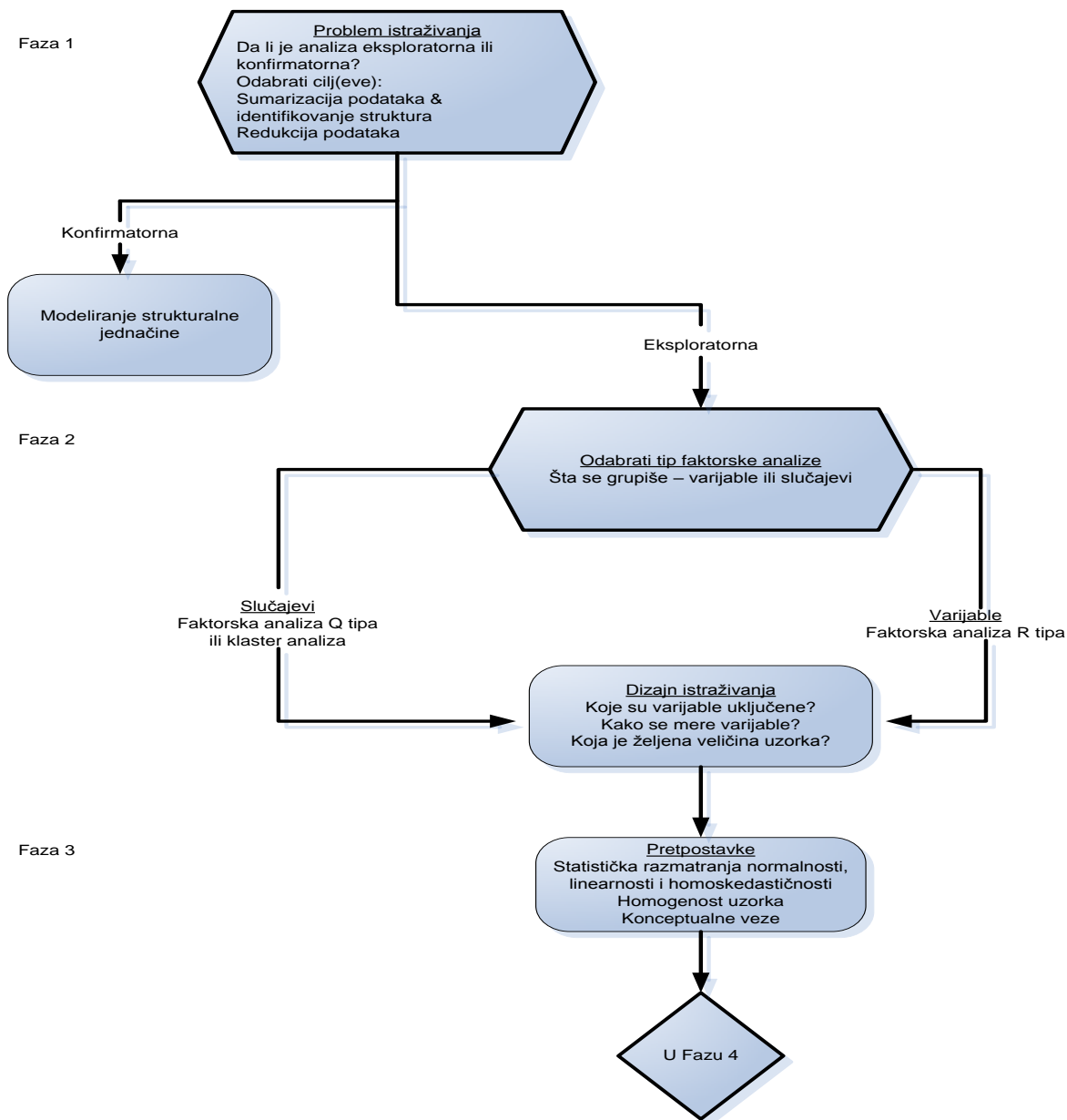
## Pie Chart



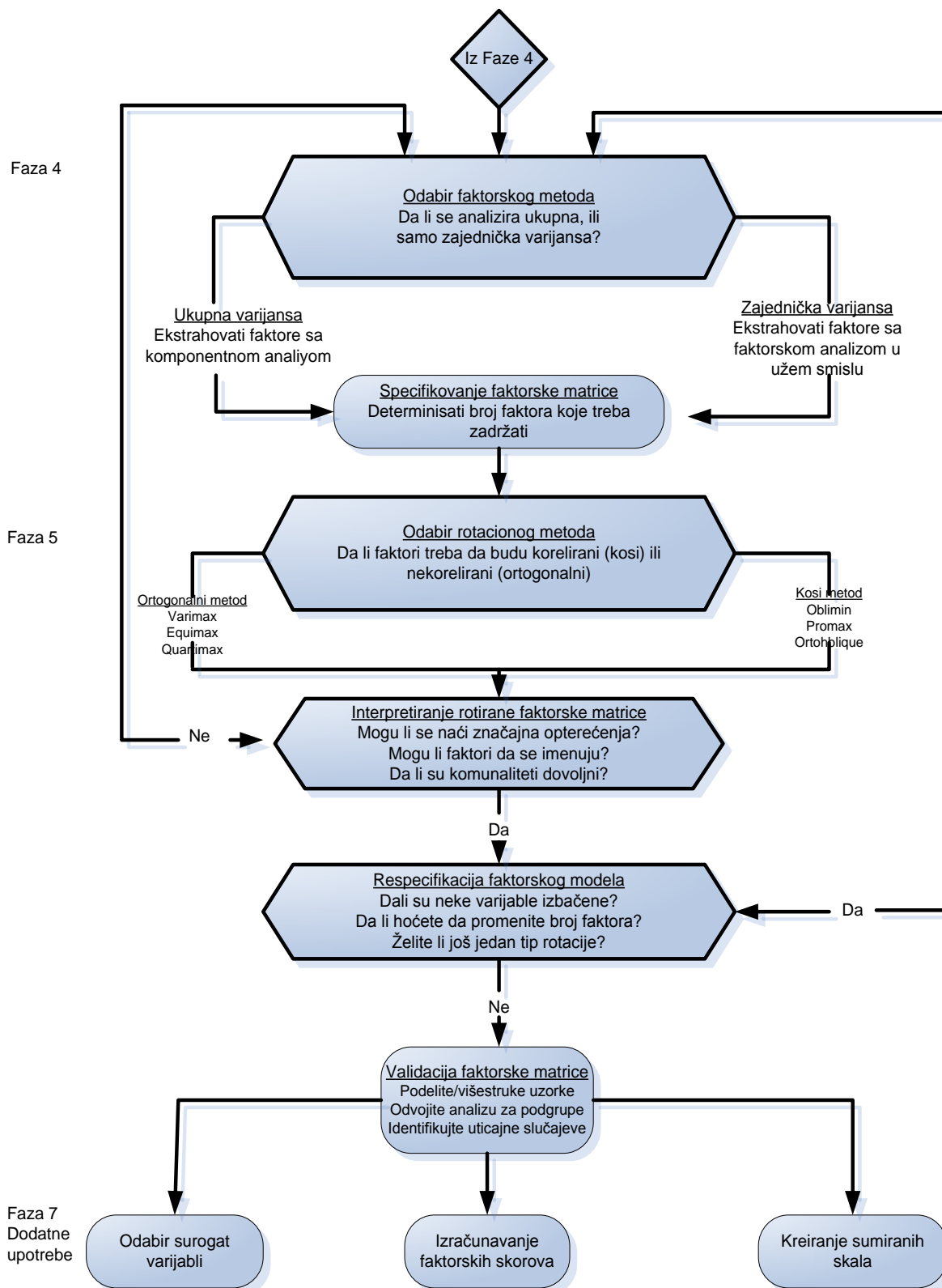




### DIJAGRAM ODLUČIVANJA FAKTORSKE ANALIZE



Slika P.1: Faze 1-3 na dijagramu odlučivanja faktorske analize



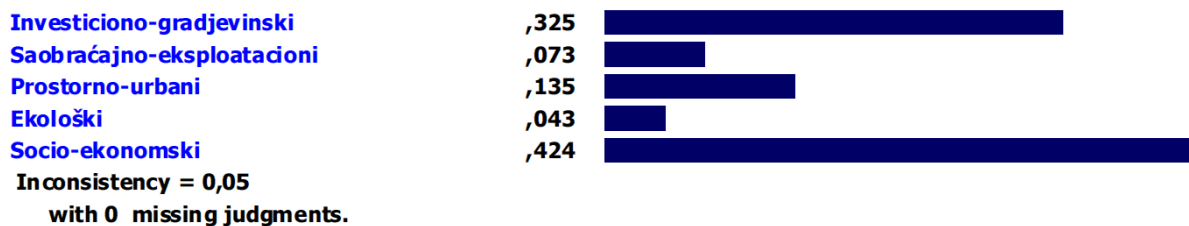
Slika P.2: Faze 4-7 na dijagramu odlučivanja faktorske analize

## PRILOG IV

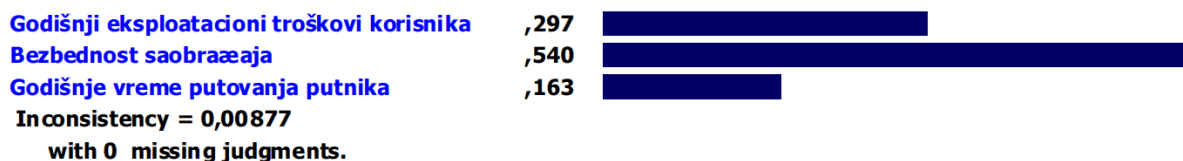
### DETALJNI IZVEŠTAJ O VREDNOVANJU I RANGIRANJU ALTERNATIVA

#### Priority Graphs

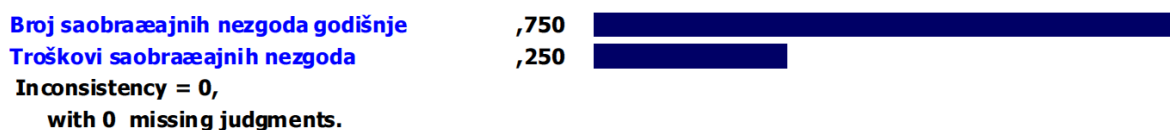
Priorities with respect to: Combined  
Goal: Odabir optimalne varijante koridora



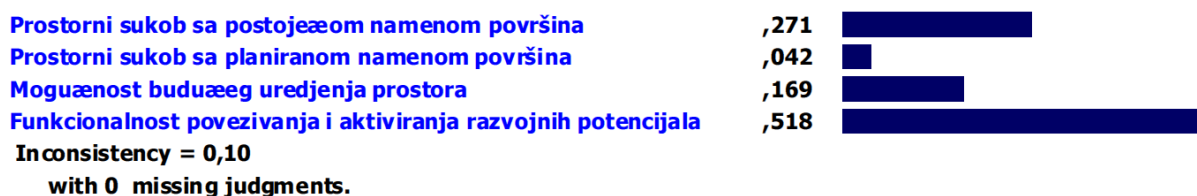
Priorities with respect to: Combined  
Goal: Odabir optimalne varijante koridora  
>Saobraćajno-eksploatacioni

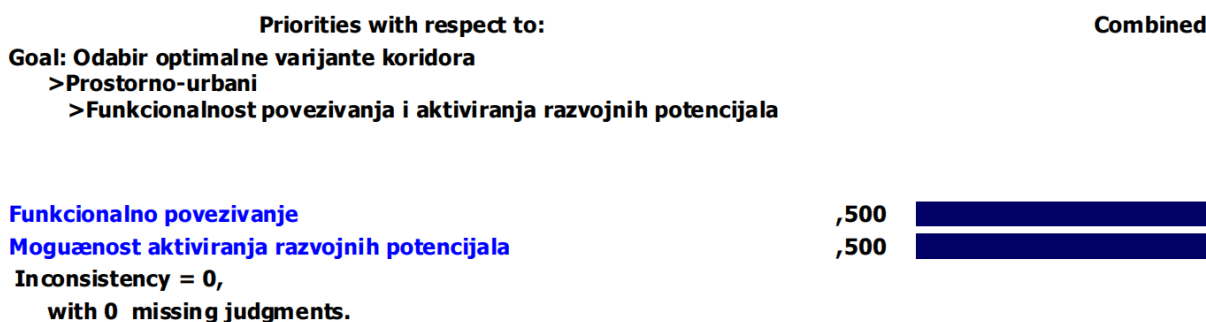
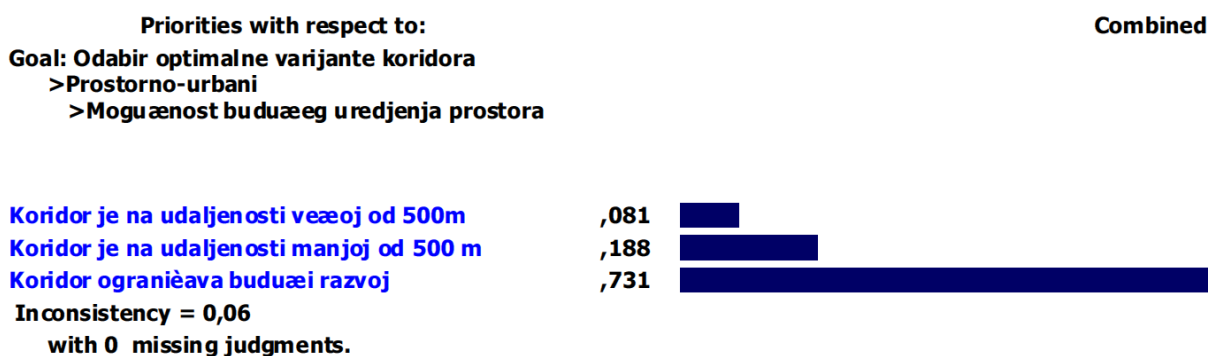
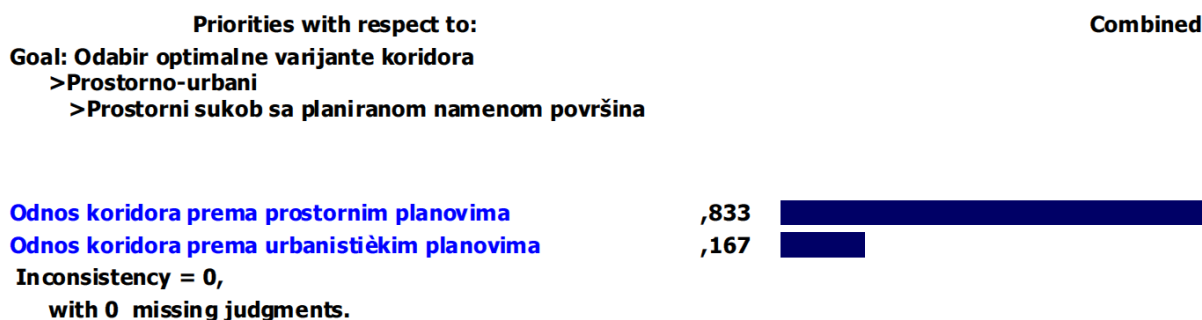
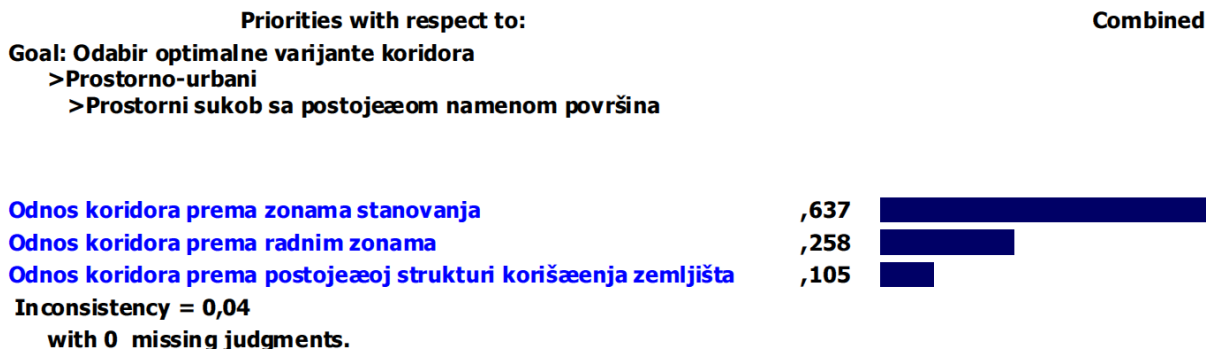


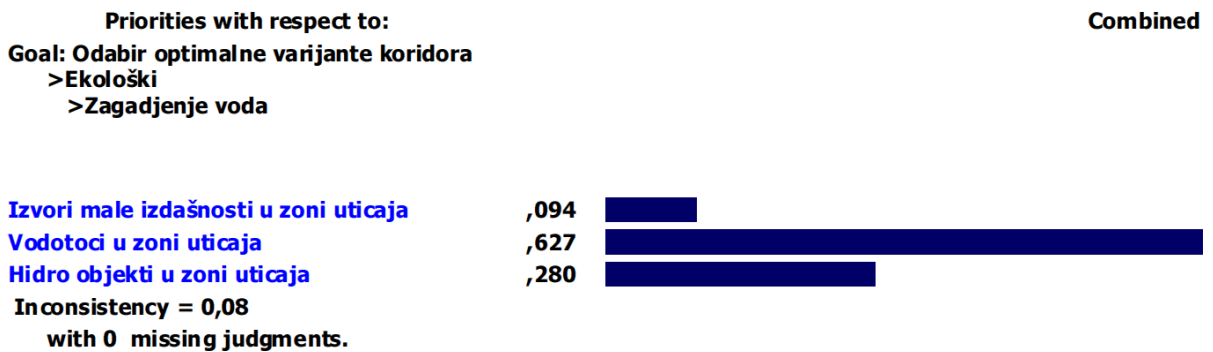
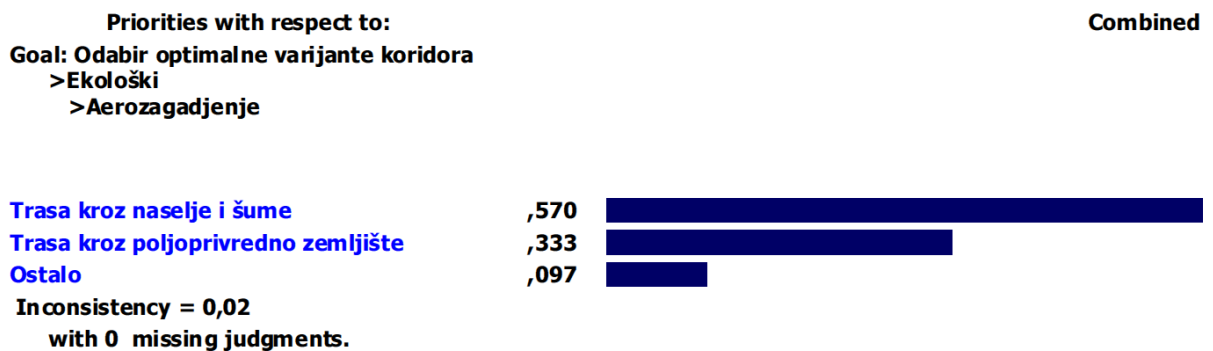
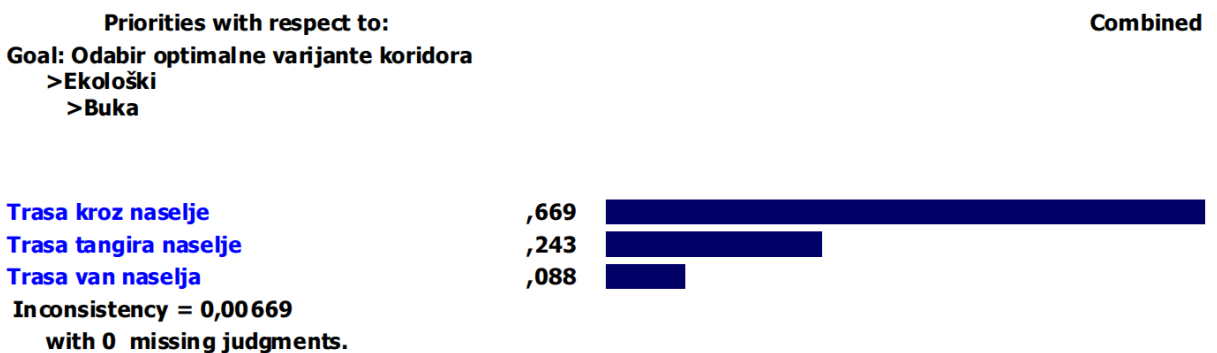
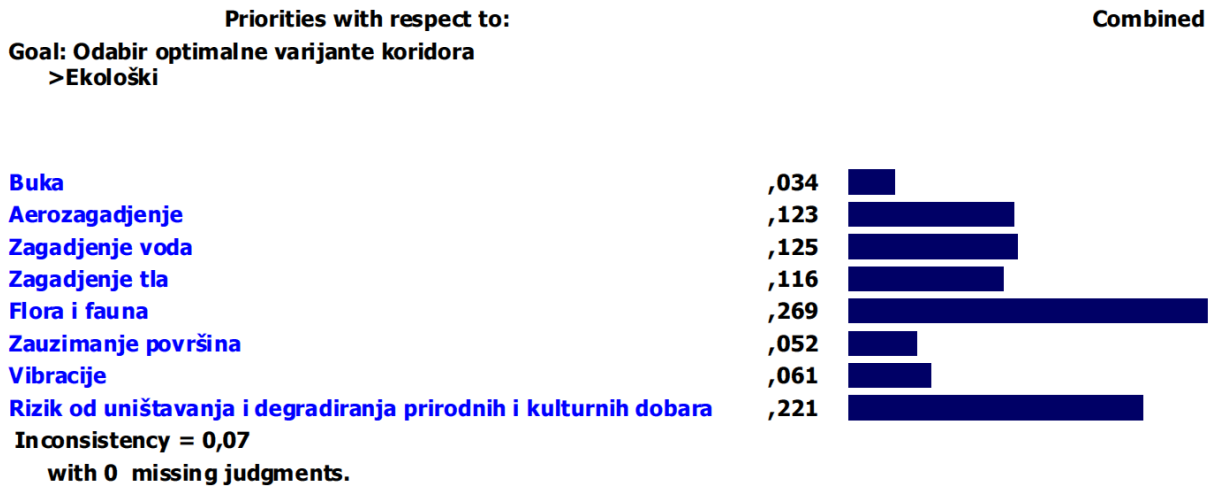
Priorities with respect to: Combined  
Goal: Odabir optimalne varijante koridora  
>Saobraćajno-eksploatacioni  
>Bezbednost saobraćaja



Priorities with respect to: Combined  
Goal: Odabir optimalne varijante koridora  
>Prostorno-urbani







Priorities with respect to:		Combined
Goal: Odabir optimalne varijante koridora		
>Ekološki		
>Zagadjenje tla		
<b>Trasa kroz voænjake, vinograde i obradivo zemljište</b>	<b>,705</b>	
<b>Trasa kroz šume</b>	<b>,211</b>	
<b>Trasa kroz naselje i ostalo</b>	<b>,084</b>	
Inconsistency = 0,03		
with 0 missing judgments.		

Priorities with respect to:		Combined
Goal: Odabir optimalne varijante koridora		
>Ekološki		
>Flora i fauna		
<b>Trasa kroz šume</b>	<b>,293</b>	
<b>Trasa kroz voænjake, vinograde i polj. zemljište</b>	<b>,641</b>	
<b>Trasa kroz naselje i ostalo</b>	<b>,067</b>	
Inconsistency = 0,10		
with 0 missing judgments.		

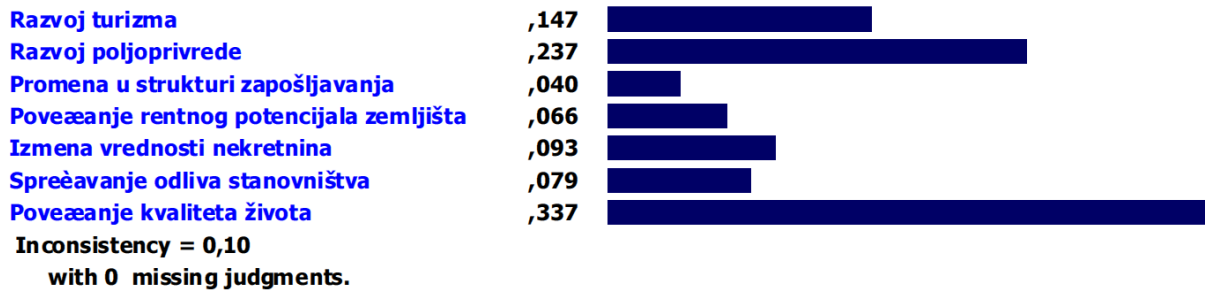
Priorities with respect to:		Combined
Goal: Odabir optimalne varijante koridora		
>Ekološki		
>Zauzimanje površina		
<b>Trasa kroz naselje i ostalo</b>	<b>,733</b>	
<b>Trasa kroz šume, voænjake i obradivo zemljište</b>	<b>,199</b>	
<b>Trasa kroz livade i pašnjake</b>	<b>,068</b>	
Inconsistency = 0,09		
with 0 missing judgments.		

Priorities with respect to:		Combined
Goal: Odabir optimalne varijante koridora		
>Ekološki		
>Vibracije		
<b>Spomenici kulture i arh. nalazišta u zoni uticaja</b>	<b>,455</b>	
<b>Trasa kroz naselje</b>	<b>,455</b>	
<b>Ostalo</b>	<b>,091</b>	
Inconsistency = 0,		
with 0 missing judgments.		

Priorities with respect to:		Combined
Goal: Odabir optimalne varijante koridora		
>Ekološki		
>Rizik od uništavanja i degradiranja prirodnih i kulturnih dobara		
<b>Zaštiæena prirodna dobra</b>	<b>,250</b>	
<b>Zaštiæena kulturna dobra</b>	<b>,750</b>	
Inconsistency = 0,		
with 0 missing judgments.		

Priorities with respect to:  
 Goal: Odabir optimalne varijante koridora  
 >Socio-ekonomski

Combined



**Compare the relative importance with respect to: Goal: Odabir optimalne varijante koridora**

Circle one number per row below using the scale:  
 1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	Investiciono-gradjevin:	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Saobraćajno-eksploata
2	Investiciono-gradjevin:	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prostorno-urbani
3	Investiciono-gradjevin:	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekološki
4	Investiciono-gradjevin:	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Socio-ekonomski
5	Saobraćajno-eksploata	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Prostorno-urbani
6	Saobraćajno-eksploata	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekološki
7	Saobraćajno-eksploata	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Socio-ekonomski
8	Prostorno-urbani	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekološki
9	Prostorno-urbani	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Socio-ekonomski
10	Ekološki	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Socio-ekonomski