

UNIVERZITET U BEOGRADU

SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Mirjana D. Grdinić-Rakonjac

**RAZVOJ NOVOG MODELA „iDEA“ ZA
OCENU NIVOVA BEZBEDNOSTI
SAOBRAĆAJA KOMPOZITNIM
INDEKSOM U USLOVIMA SIVIH
PODATAKA**

doktorska disertacija

Beograd, 2022

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC ENGINEERING

Mirjana D. Grdinić-Rakonjac

**DEVELOPMENT OF A NEW „iDEA“
MODEL FOR EVALUATING THE
LEVEL OF TRAFFIC SAFETY BY A
COMPOSITE INDEX IN GREY DATA
ENVIRONMENT**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022

MENTOR

Dr Boris ANTIĆ, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Boris ANTIĆ, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

Dr Krsto LIPOVAC, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

Dr Dalibor PEŠIĆ, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

Dr Jelica DAVIDOVIĆ, docent
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

Dr Dragan JOVANOVIĆ, redovni profesor
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

Datum odbrane: _____

Posvećeno mojim roditeljima Dušku i Mikici.

*i am trusting the uncertainty
and believing i will
end up somewhere
right and good*

- rupi kaur

ZAHVALNICA

Najpre želim da se zahvalim profesoru dr Borisu Antiću na ukazanom poverenju da bude moj mentor, na pomoći i svim korisnim savetima i sugestijama koje mi je davao tokom izrade ove doktorske disertacije. Zahvaljujem mu se na posvećenosti i na znanju koje sam stekla u radu sa njim tokom celokupnog trajanja osnovnih, master i doktorskih studija.

Takođe, želim da se zahvalim profesoru, kolegi, prijatelju dr Vladimiru Pajkoviću, koji me je kroz moja stručna i životna iskušenja vodio rečima ohrabrenja i podrške. Njegova intuicija, koja je uvek ispred vremena, vodila me je na pravi put i neizmerno se radujem našoj daljoj naučnoj saradnji.

Posebno hvala suprugu Spasoju i njegovoj porodici, koja je postala i moja porodica. Njihova briga i pomoć svake vrste dali su veliki doprinos pisanju ove disertacije. Zahvaljujem se Branislavi, Zoranu, kumi Ivani i prijateljima Milanu, Vanji i Ivani na pozitivnoj energiji, razumevanju i stalnoj podršci.

Izrazitu zahvalnost dugujem svom dragom sinu Lazaru, na razumevanju, strpljenju i njegovoj do crne rupe velikoj ljubavi, koju mi nesebično i bezuslovno pruža. A posebno sam mu zahvalna što me svakodnevno motiviše za rad i životnu borbu.

Na kraju, najveću zahvalnost dugujem svojim roditeljima, na njihovoj ljubavi, veri, raumevanju, konstruktivnim kritikama i podržavanju svih mojih afiniteta. Ne postoje reči kojima bih mogla izraziti zahvalnost za sve što su učinili za mene, uz mnogo požrtvovanosti i ličnog odricanja. Hvala im za najčvršći oslonac i najveću podršku koju sam imala tokom školovanja. Ovu doktorsku disertaciju posvećujem upravo njima.

Mirjana Grdinić-Rakonjac

RAZVOJ NOVOG MODELA „iDEA“ ZA OCENU NIVOVA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA KOMPOZITNIM INDEKSOM U USLOVIMA SIVIH PODATAKA

SAŽETAK

Za postizanje značajnog poboljšanja bezbednosti saobraćaja na putevima, naročito na nacionalnom nivou, neophodan je sistemski pristup upravljanju bezbednošću saobraćaja. Polaznu osnovu svakog procesa upravljanja predstavlja pouzdana ocena stanja. U svetu je za tu svrhu poznat i primenjen značajan broj različitih metoda, a kao najrelevantniji izdvojilo se korišćenje kompozitnog indeksa kojim se kompleksnost i multidisciplinarni kontekst bezbednosti saobraćaja prikazuje jedinstvenom kvantitativnom merom.

Prilikom primene postojećih metoda za konstruisanje kompozitnog indeksa često se zanemaruje nesigurnost i nepreciznost vrednosti izabranih indikatora. Iako su pokazatelji kao što su broj nezgoda, broj poginulih, stepen motorizacije itd. lako dostupni i kvantitativni, pod određenim okolnostima zbog složenosti i neizvesnosti stvarnosti, mogu biti neadekvatni i neprikladni za modeliranje realnog stanja. Osim toga, podaci o percepciji (kao i podaci o ponašanju kada su u pitanju nerazvijene i zemlje u razvoju koje nemaju ažurne baze podataka zasnovane na metodološki uspostavljenim snimanjima) se prikupljaju sprovođenjem ankete. Zbog neizvesnosti ljudskog saznanja i nepreciznih i nejasnih stavova, prikupljeni odgovori su obično u vidu jezičkih procena pa je prilikom konstruisanja kompozitnog indeksa neophodno prethodno izvršiti njihovu kvantifikaciju. Uzevši u obzir da se indeks dobijen od suštinski nepreciznih i nesigurnih podataka ne može smatrati apsolutno pouzdanim, u disertaciji je razvijen integrisani metodološki pristup u čijem postupku se na više mesta prepoznaje i oblikuje neizvesnost i nesigurnost.

Sivi brojevi, kao deo teorije sivih sistema, korišćeni su za obradu indikatora koji su prikupljeni metodom ankete. Višeslojna analiza obavljanja podataka (*DEA*) je primenjena da bi se izvršila integracija hijerarhijski struktuisanih indikatora i kreirala matrica unakrsnih efikasnosti. Za dobijanje pouzdanije vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti, u sklopu *DEA* analize implementirana je nadgradnja za izbor jedinstvenog seta optimalnih rešenja efikasnih jedinica odlučivanja. Za oblikovanje neizvesnosti pri agregaciji elemenata matrice, primenjena je unapređena siva relaciona analiza, takođe deo teorije sivih sistema.

Rezultat predloženog modela predstavlja sveobuhvatnu ocenu stanja bezbednosti na osnovu lako dostupnih i/ili nedovoljno pouzdanih podataka, koja omogućava efikasno poređenje teritorija, rangiranje, benčmarking i identifikaciju najvažnijih uticajnih faktora. Verifikacija metoda je izvršena praktičnom primenom ocene stanja bezbednosti saobraćaja 21 opštine u Crnoj Gori i komparativnom analizom sa izabranim postojećim metodama za kreiranje kompozitnog indeksa.

Ključne reči: kompozitni indeks bezbednosti saobraćaja, nesigurni podaci, sivi brojevi, analiza obavljanja podataka, siva relaciona analiza, benčmarking.

Naučna oblast: Bezbednost saobraćaja

Uža naučna oblast: Preventiva i bezbednost saobraćaja

UDK:

DEVELOPMENT OF A NEW „iDEA“ MODEL FOR EVALUATING THE LEVEL OF TRAFFIC SAFETY BY A COMPOSITE INDEX IN GREY DATA ENVIRONMENT

ABSTRACT

A systematic approach to traffic safety management is needed to significantly improve traffic safety, especially at the national level. The starting point of any road safety management process is a reliable assessment of the situation. A significant number of different methods are known and applied for this purpose in the world, and the most relevant was the use of a road safety composite index which presents the complexity and multidisciplinary context of traffic safety with a single quantitative measure.

Creating a composite index with existing methods, natural uncertainty and vagueness of selected indicators are often overlooked. Usually, traditional indicators used for describing state of road safety relies on precise and easy available data such as number of fatalities and injured, number of accidents, motorization level, etc. however, because of real-life application, there are numerous reasons for the uncertainty, imprecision, or greyness of these data values. Moreover, safety performance indicators that describe drivers' attitudes (and behaviour as well in underdeveloped and developing countries that do not have methodologically established databases) are usually collected by measuring with physical devices and from questionnaires. Due to the uncertainty of human knowledge and imprecise and unclear attitudes, the collected answers are usually linguistic variables representing a qualitative measure of opinion about one's own behaviour, therefore, it is needed to consider uncertain parameters in the process of constructing reliable road safety composite index. Taking into account that the composite index obtained from inaccurate and uncertain data cannot be considered absolutely reliable, the dissertation developed an integrated methodological approach that recognizes and models uncertainty and vagueness as inherent features of this mentioned type of data.

A part of the grey theory, grey numbers were used to describe questionnaire collected data on driver's behaviour and perception and accordingly calculate the values of indicators. Multilayer data envelopment analysis (*DEA*) is employed to aggregate hierarchically arranged indicators and to construct cross efficiency matrix. An extension was implemented to choose a set of weights from alternative optimal solutions for efficient decision-making units, for purpose to obtain a more reliable value of the cross efficiency matrix. To resolve incorporated uncertainty inherent in the aggregation of cross efficiency is applied to combine the entire range of performance efficiencies in cross efficiency matrix into one, single value.

The result of the proposed model is a comprehensive evaluation of the state of road safety based on unreliable and imprecise data, which allows efficient comparison of territories, ranking, benchmarking and identification of the most important influencing road safety factors. The proposed approach is verified with both, practical application for a set of 21 Montenegrin municipalities and comparative analysis with existing methods for composite index construction.

Key words: road safety composite index, uncertain data, grey numbers, data envelopment analysis, grey relational analysis, benchmarking.

Scientific field: Traffic safety

Scientific subfield: Prevention and Traffic Safety

UDC:

SADRŽAJ

LISTA SLIKA	iv
LISTA TABELA	iv
LISTA GRAFIKONA.....	v
SKRAĆENICE.....	vi
1. UVOD	1
1.1. Obrazloženje motiva za izbor teme.....	2
1.2. Predmet i naučni cilj istraživanja.....	4
1.3. Polazne hipoteze.....	5
1.4. Metode istraživanja i ograničenja.....	5
1.5. Prikaz sadržaja doktorske disertacije	5
2. METODOLOGIJA ZA KREIRANJE KOMPOZITNOG INDEKSA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA.....	7
2.1. Izbor indikatora	7
2.1.1. Prikupljanje podataka.....	10
2.1.2. Normalizacija podataka	11
2.2. Procena uticaja indikatora	11
2.3. Agregacija izabranih indikatora.....	12
2.3.1. Analiza obavljanja podataka – <i>DEA</i>	15
2.3.2. Prednosti i nedostaci <i>DEA</i> analize	17
2.3.3. <i>DEA</i> softverska podrška	20
2.3.4. Primena <i>DEA</i> u oblasti bezbednosti saobraćaja	21
2.4. Benčmarking u bezbednosti saobraćaja.....	22
3. NESIGURNI – SIVI PODACI U BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA	23
3.1. Modeliranje nesigurnih podataka.....	23
3.2. <i>DEA</i> i nesigurni podaci.....	26
4. RAZVOJ NOVOG INTEGRISANOG METODA ZA KREIRANJE KOMPOZITNOG INDEKSA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA – <i>iDEA</i>.....	28
4.1. Izbor indikatora	30
4.1.1. Razvoj hijerarhijske strukture indikatora	32
4.1.2. Obrada nesigurnih podataka – sivi brojevi.....	34
4.1.3. Validacija izabranih indikatora.....	36

4.2. Razvoj novog integrisanog modela za ponderisanje i agregaciju kompozitnog indeksa <i>i</i> DEA	37
4.2.1. Višeslojna analiza obavijanja podataka.....	37
4.2.2. Izbor optimalnih težinskih koeficijenata.....	40
4.2.3. Nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti.....	42
4.3. Metode benčmarkinga	47
4.3.1. Regresiona analiza	47
4.3.2. Klaster analiza.....	47
4.3.3. Validacija grupisanja	48
5. PRIMENA <i>i</i>DEA INDEKSA ZA OCENU STANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA	49
5.1. Opšte karakteristike i pokazatelji bezbednosti u Crnoj Gori.....	49
5.2. Indikatori bezbednosti u Crnoj Gori	50
5.2.1. Čovek.....	50
5.2.1.1. Istraživanje percepcije u Crnoj Gori.....	50
5.2.1.1.1. Statistička obrada prikupljenih podataka.....	51
5.2.1.1.2. Modeliranje podataka o percepciji	56
5.2.1.2. Istraživanje ponašanja vozača u Crnoj Gori.....	59
5.2.1.2.1. Statistička obrada prikupljenih podataka.....	61
5.2.1.2.2. Modeliranje podataka o ponašanju	64
5.2.2. Vozilo.....	71
5.2.3. Infrastruktura.....	72
5.2.4. Konačni ishodi.....	74
5.3. Konačni <i>i</i> DEA indeks bezbednosti opština u Crnoj Gori	75
5.4. Benčmarking opština u Crnoj Gori	81
6. ANALIZA PREDLOŽENOG METODA	86
6.1. Verifikacija integrisanog <i>i</i> DEA metoda za konstruisanje kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja.....	86
6.1.1. Poređenje sa tradicionalnim pristupima.....	86
6.1.2. Uticaj obrade nesigurnosti na konačnu ocenu bezbednosti	88
6.1.3. Poređenje sa izabranim <i>MCDM</i> metodama.....	91
6.1.4. Poređenje sa relevantnim <i>DEA</i> metodama	92
6.2. <i>SWOT</i> analiza.....	94
7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	97
7.1. Glavni naučni doprinosi <i>i</i> DEA metodologije.....	98
7.2. Ograničenja <i>i</i> DEA metoda i predlog budućih istraživanja.....	101

LITERATURA	103
PRILOZI	128
Prilog A.	128
Prilog B.	130
Prilog C.	132
Prilog D.	134
Prilog E.	139
Prilog F.	142
Prilog G.	148
BIOGRAFIJA AUTORA.....	149
Izjava o autorstvu	150
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada.....	151
Izjava o korišćenju.....	152

LISTA SLIKA

Slika 1. Kategorizacija domena	9
Slika 2. Razvoj metoda za kreiranje kompozitnog indeksa	14
Slika 3. Koncept „sivi podaci“	26
Slika 4. Metodološki okvir za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja <i>i</i> DEA kompozitnim indeksom.....	29
Slika 5. Hijerarhijska struktura indikatora za kreiranje <i>i</i> DEA indeksa	33
Slika 6. Unutrašnji težinski koeficijenti.....	69
Slika 7. Vizuelizacija stanja bezbednosti prema <i>i</i> DEA indeksu.....	83
Slika 8. Dendrogram	84
Slika 9. <i>SWOT</i> analiza razvijene <i>i</i> DEA metodologije	95

LISTA TABELA

Tabela 1. <i>CCR DEA</i> modeli	17
Tabela 2. Matrica unakrsne efikasnosti	41
Tabela 3. Matrica težinskih koeficijenata.....	42
Tabela 4. Deskriptivna tabela uzorka za istraživanje percepcije.....	51
Tabela 5. Percepcija opšteg stanja bezbednosti	52
Tabela 6. Percepcija izabranih faktora bezbednosti	53
Tabela 7. Percepcija potencijalnih preventivnih mera.....	54
Tabela 8. Percepcija potencijalnih preventivnih mera za mlade vozače	55
Tabela 9. Lingvističke ocene uticaja izabranih faktora	56
Tabela 10. Lingvističke ocene uticaja izabranih faktora i odgovarajući sivi brojevi.....	56
Tabela 11. Kodiranje lingvističkih promenljivih sivim brojevima	57
Tabela 12. Sivi brojevi po kategorijama stanovništva – percepcija uticaja brzine	57
Tabela 13. Sivi brojevi za percepciju svih izabranih faktora prema kategoriji stanovništva	57
Tabela 14. Struktura stanovništva prema polu i starosti po opštinama	58
Tabela 15. Konačne vrednosti percepcije izabranih faktora	58
Tabela 16. Normalizovane vrednosti percepcije izabranih faktora	59
Tabela 17. Istraživanje samoprijavljenog ponašanja vozača.....	60
Tabela 18. Deskriptivna tabela uzorka za istraživanje ponašanja	61
Tabela 19. Procentualni udeo svih odgovora	62
Tabela 20. Učestalost ponašanja i njima odgovarajući sivi brojevi	65
Tabela 21. Samoprijavljeno ponašanje i njima odgovarajući sivi brojevi	65
Tabela 22. Samoprijavljeno ponašanje i njima odgovarajući sivi brojevi	65
Tabela 23. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: vožnja brzinom većom od dozvoljene.....	66
Tabela 24. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: vožnja pod uticajem alkohola	67
Tabela 25. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: upotreba telefona u toku vožnje.....	67
Tabela 26. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: upotreba sigurnosnog pojasa	68
Tabela 27. Konačne vrednosti izabranih ponašanja.....	70
Tabela 28. Normalizovane vrednosti izabranih ponašanja.....	70
Tabela 29. Lingvističke ocene uticaja sezonalnosti i odgovarajući sivi brojevi.....	71

Tabela 30. Ocene eksperata za uticaj sezonalnosti.....	71
Tabela 31. Konačne vrednosti svih indikatora koje pripadaju domenu „vozilo“	72
Tabela 32. Pirsonov koeficijent korelacije između mera javnog rizika i sezonalnosti.....	72
Tabela 33. Konačne vrednosti svih indikatora koje pripadaju domenu „infrastruktura“	73
Tabela 34. Normalizovane vrednosti indikatora koje pripadaju domenu „infrastruktura“	73
Tabela 35. Konačni ishodi.....	74
Tabela 36. Normalizovane vrednosti indikatora koje pripadaju domenu „konačni ishodi“	75
Tabela 37. Matrica unakrsne efikasnosti – <i>CEM</i>	76
Tabela 38. FANMA ponderi i sivi relacioni koeficijent	78
Tabela 39. Ocena i rang opština prema <i>iDEA</i> indeksu.....	79
Tabela 40. Benčmark teritorije prema <i>MLDEA</i>	81
Tabela 41. Vrednosti potrebne za sprovođenje regresione analize	82
Tabela 42. Grupisanje teritorija regresionom analizom.....	83
Tabela 43. Rezultati testa jednakosti varijansi.....	84
Tabela 44. <i>ANOVA</i> analiza	84
Tabela 45. Prioritetna polja po opštinama u domenu „čovjek“	85
Tabela 46. Korelacija ranga prema <i>iDEA</i> indeksu i odabranim pokazateljima	88
Tabela 47. Rang teritorija u zavisnosti od metode za obradu kvalitativnih podataka.....	89
Tabela 48. Korelacija rangova prema <i>MCDM</i> metodama	91
Tabela 49. Rangovi teritorija prema izabranim <i>DEA</i> metodama	93
Tabela 50. Spermanova korelacija rangova prema izabranim <i>DEA</i> meodama.....	94

LISTA GRAFIKONA

Grafikon 1. Stanje bezbednosti	50
Grafikon 2. Percepcija opšteg stanja bezbednosti prema kategorijama ispitanika	52
Grafikon 3. Srednja vrednost ocene svakog faktora.....	53
Grafikon 4. Srednja vrednost ocene svih faktora prema kategorijama ispitanika.....	53
Grafikon 5. Srednja vrednost ocene svih potencijalnih preventivnih mera.....	54
Grafikon 6. Srednja vrednost ocene potencijalnih mera prema kategorijama ispitanika.....	54
Grafikon 7. Percepcija potencijalnih preventivnih merama za mlade vozače prema kategorijama ispitanika	55
Grafikon 8. Srednja ocena ponašanja	62
Grafikon 9. Prekoračenje brzine prema kategorijama ispitanika.....	63
Grafikon 10. Vožnja pod dejstvom alkohola prema kategorijama ispitanika.....	63
Grafikon 11. Upotreba sigurnosnog pojasa u toku vožnje prema kategorijama ispitanika	64
Grafikon 12. Upotreba telefona u toku vožnje prema kategorijama ispitanika	64
Grafikon 13. Promena ocene efikasnosti.....	79
Grafikon 14. Odnos dodeljenih pondera u domenu „čovjek“ na nivou cele teritorije.....	80
Grafikon 15. Grupisanje teritorija prema <i>iDEA</i> indeksu.....	82
Grafikon 16. Poređenje rangova prema <i>iDEA</i> indeksu i odabranim rizicima.....	87
Grafikon 17. Promena vrednosti ocene bezbednosti.....	90
Grafikon 18. Promena ranga.....	90
Grafikon 19. Rangovi prema <i>MCDM</i> metodama	91

SKRAĆENICE

ETSC	European Transport Safety Council
CI	Composite Index
SPI	Safety Performance Indicators
RSDI	Road Safety Development Index
PIN	The ETSC Road Safety Performance Index (PIN), Međunarodni projekat
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
EW	Equal Weighting
PCA	Principal Component Analysis
FA	Factor Analysis
RSR	Rank-Sum Ratio
BA	Budget Allocation
AHP	Analytic Hierarchy Process
BWM	Best-Worst Method
DEA	Data Envelopment Analysis
IDEA	Imprecise Data Envelopment Analysis
MCDM	Multi-Criteria Decision Methods
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
OWA	Ordered Weighted Averaging
ERA	Evidential Reasoning Approach
GRA	Grey relational analysis
DMU	Decision Making Units
CCR	Verzija DEA modela koju su razvili Charnes, Cooper & Rhodes
CRS	Constant Return to Scale
VRS	Variable Return to Scale
CE	Cross Efficiency
CEM	Cross Efficiency Matrix
DT	Decision Trees
RO	Robust optimization
ESRA	E-Survey of Road Users' Attitudes
SARTRE	Social Attitudes to Road Traffic Risks in Europe
RSAR	Road Safety Analytical Report
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

1. UVOD

Na saobraćajni sektor utiče veliki broj faktora, poput demografije, životnog standarda stanovništva, pristupačnosti infrastrukturi itd. a kao jedan od negativnih trendova poslednjih decenija beleži se povećanje obima drumskog saobraćaja. To je razlog zbog čega je pitanje bezbednosti saobraćaja veoma važno u mnogim zemljama. Povrede nastale u saobraćajnim nezgodama su godinama u vrhu liste vodećih uzroka smrtnosti i jedan su od najznačajnijih problema javnog zdravlja. Veliki broj izgubljenih života i visoka ekonomska šteta zahtevaju ozbiljan pristup pitanju smanjenja broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica. Oko 3700 poginulih lica svakog dana na svetskom nivou (od toga 93% u nerazvijenim i u zemljama u razvoju) uzrok je velikih ekonomskih gubitaka (518 biliona američkih dolara u 2018. godini), dok se neposredna šteta od saobraćajnih nezgoda procenjuje na 1% do 7% BDP-a i naročito je izražena u nerazvijenim zemljama gdje je procenat saobraćajnih nezgoda dvostuko veći nego u razvijenim zemljama (WHO, 2018). Kao glavni razlog navodi se rapidno povećanje stepena motorizacije, s jedne strane, kao i niska ulaganja u bezbednost saobraćaja, s druge strane (Stoma et al., 2021). Treba napomenuti da, prema podacima Svetske zdravstvene organizacije (SZO), mladi ljudi, starosti od 15 do 44 godine, čine više od polovine lica poginulih u saobraćajnim nezgodama. Ono što dodatno zabrinjava je lošija statistika kada su u pitanju lica uzrasta od 10 do 24 godine starosti, za koje stradanje u saobraćajnim nezgodama predstavlja glavni uzrok smrtnosti, a prema procenama SZO očekuje se da se udeo smrtnosti u saobraćajnim nezgodama za ovu kategoriju lica poveća do 65% (WHO, 2018).

Za postizanje značajnog poboljšanja bezbednosti saobraćaja na putevima, naročito na nacionalnom nivou, neophodan je sistemski pristup upravljanju bezbednošću saobraćaja sa precizno definisanim obavezama i odgovornostima. Kao što pokazuje iskustvo nekih zemalja, to nije toliko lako jer su u mnogim slučajevima preduzete radnje koje su nesistematične, fragmentirane i koje se ne zasnivaju na znanju i iskustvu, pa sve to uzrokuje njihovu neefikasnost. Takođe, uprkos uverenju da je bolje upravljanje bezbednošću saobraćaja i njegovim procesima povezano sa boljim karakteristikama stanja bezbednosti, pokazalo se da je taj odnos dosta složeniji i da ga je potrebno za svaki individualni slučaj dodatno istražiti i posebno razmotriti (Papadimitriou & Yannis, 2013).

Među mnogim standardima i procedurama koje su razvijene u cilju upravljanja bezbednošću saobraćaja kao najznačajniji izdvojili su se „*SUNflower*“ piramida i *ISO 39001* standard.

- I. „*SUNflower*“ piramida je namenjena za ocenu i poređenje stanja bezbednosti zemalja širom sveta. Ovaj pristup predstavlja konceptualni okvir za identifikaciju faktora koji utiču na nivo bezbednosti. Najčešće se koristi u zemljama Evropske unije, a za sada postoje tri *SUNflower* pristupa (Koornstra et al., 2002; Wegman et al., 2005; 2008). Ovaj pristup se bazira na razumevanju procesa i hijerarhije uzroka i posledica koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda (a takođe i njihovih posledica i troškova).

II. *ISO 39001* standard je osmišljen na takav način da pomaže organizacijama u primeni najboljih praksi i dostizanju unapred zadatih ciljeva postavljenih od strane učesnika, a uz smanjenje uticaja na životnu sredinu. Razvijen je uz podršku stručnjaka iz 40 zemalja i 16 organizacija. Usvajanjem okvira za upravljanje najboljom praksom iz *ISO 39001*, kompanije i preduzeća mogu aktivno doprineti smanjenju javnog i saobraćajnog rizika.

Praćenje i ocena stanja bezbednosti saobraćaja predstavlja sistematsko prikupljanje i obradu podataka koje stručnjacima koristi u procesu odlučivanja, a može poslužiti i kao mehanizam povratne informacije tokom procesa implementacije mera, evaluacije programa ili razvoja strategija. Tri primarna cilja svake ocene stanja su (Klyavin et al., 2020):

1. Identifikovanje glavnih kritičnih oblasti (ili pojava) i u odnosu na njih, definisanje načina delovanja;
2. Sagledavanje i oblikovanje relacija sa oblašću koja se analizira i obezbeđivanje povratnih informacija o uspešnosti (ili neuspešnosti) primenjenih mera i strategija;
3. Usaglašavanje sa standardima i propisima.

Praćenje stanja obezbeđuje dobijanje kvantitativnih podataka koji omogućavaju analizu svih izabranih faktora rizika i realnu ocenu uticaja svakog od njih na nivo bezbednosti saobraćaja i dalje, donošenje odluka o neophodnosti različitih mera za povećanje nivoa bezbednosti. *SUNflower* pristup podrazumeva ocenu stanja na osnovu većeg broja pokazatelja i indikatora koji se agregiraju u jednu sveobuhvatnu ocenu, takozvani kompozitni indeks bezbednosti (*Composite Index, CI*). Korišćenjem *CI*, kompleksnost i multidisciplinarni kontekst bezbednosti saobraćaja se može prikazati jedinstvenom kvantitativnom merom, a što predstavlja prednost u odnosu na korišćenje individualnih indikatora (Gitelman et al., 2010). Stoga ne čudi velika popularnost ovog pristupa i razvoja većeg broja različitih kompozitnih indeksa za ocenu stanja bezbednosti na teritoriji, a samo neki od njih su: *RSDI* (Al Haji, 2007), *RSI* (Hermans et al., 2009b), *CRSI* (Gitelman et al., 2010), *RSCI* (Wegman & Oppe, 2010), *BTSL* (Pešić et al., 2013), *CRI* (Shen, 2018), *SBM* (Ganji & Rassafi, 2019a), *gCI* (Grdinić-Rakonjac et al., 2021a), *DGF* (Antić et al., 2022), itd.

U literaturi koja se bavi ocenom stanja bezbednosti kompozitnim indeksom, izbor indikatora koji će kreirati krajnju ocenu bezbednosti predstavlja važan zadatak s obzirom da konačna ocena neke teritorije u najvećoj meri zavisi upravo od tog izbora (Hermans, 2009). Različiti autori koriste različite setove indikatora. Neki autori koriste direktne pokazatelje bezbednosti kao što su broj nezgoda ili poginulih u odnosu na broj stanovnika, broj putničkih kilometara ili broj motornih vozila (Sutiwipakorn & Prechaverakul, 2002; Bastos et al., 2014; 2015), drugi koriste indirektno pokazatelje kao što su ponašanje vozača, stanje vozila i putne infrastrukture (Hermans et al., 2008a; 2008b; 2010b; Vis et al., 2005; Hakkert et al., 2007; Shen et al., 2011b), a neki autori koriste kombinaciju navedenih (Al Haji, 2007; Wegman et al., 2008; Wegman & Oppe, 2010; Gitelman et al., 2010; Chen et al., 2015; 2016; Grdinić et al., 2019; Antić et al., 2020a; Antić & Grdinić-Rakonjac 2020; Grdinić-Rakonjac et al., 2020; Omrani et al., 2020a; 2020b). Indikatori se najčešće biraju po unapred zadatim kriterijumima, a primetan je trud svih autora da za svaku oblast definišu najmanje jedan indikator kojim će biti opisana.

1.1. Obrazloženje motiva za izbor teme

Pouzdanost kompozitnog indeksa bazira se na podacima od kojih je konstruisan, a njegov kvalitet bi trebalo da se poboljšava paralelno sa poboljšanjem kvaliteta prikupljenih podataka i razvojem korišćenih indikatora. Podaci od kojih se konstruiše kompozitni indeks mogu biti različiti i zavise od samog cilja istraživanja. Većina istraživanja kojima se ispituje uticaj pojedinih faktora na stanje bezbednosti saobraćaja slaže se da je ljudski faktor najčešći uzrok nastanka saobraćajnih nezgoda i uvećanja posledica (Rumar, 1986; Assum, 1997; PIARC, 2003; Lipovac, 2008; Weber et al., 2018; Dingus et al., 2016; Bucsuházy et al., 2020). Takođe, na prvom

nivou LTSA (2000) piramide, u okviru stepena razvoja društva i saobraćajne strukture, kao jedan od domena, a neretko zanemaren prilikom kreiranja kompozitnog indeksa, je domen stavova i percepcije vozača i/ili ostalih učesnika u saobraćaju. Percepcija predstavlja složen fenomen koji direktno utiče na kognitivne procese vožnje (Čubranić-Dobrodolac et al., 2021) i posledično, ima veliki uticaj na nivo bezbednosti saobraćaja. Autori se slažu oko značaja percepcije na konačnu ocenu bezbednosti međutim, praktična implementacija prilikom kreiranja kompozitnog indeksa uglavnom izostaje a ta vrsta istraživanja se navodi kao jedan od najzahtevnijih koraka (Tešić, 2018). Percepcija i ponašanje učesnika u saobraćaju agregirani sa ostalim indikatorima u jedan kompozitni indeks omogućavaju sveobuhvatniju sliku stanja na analiziranoj teritoriji, a ovako kreiran kompozitni indeks predstavlja dobru podlogu za definisanje preciznih domena i jasnih smernica za podizanje nivoa bezbednosti. To je ujedno bio jedan od glavnih motiva istraživanja u vezi ove disertacije.

Pokazatelji bezbednosti saobraćaja kao što su broj nezgoda, broj poginulih, stepen motorizacije itd. a koji se najčešće koriste prilikom kreiranja kompozitnog indeksa, prikupljaju se iz relevantnih baza podataka i prikazuju se numerički. S obzirom da je većina indikatora u bezbednosti saobraćaja kvantitativnog karaktera i da je njihova implementacija u metodologiju za izračunavanje kompozitnog indeksa relativno laka, često se zanemaruje pitanje o preciznosti i pouzdanosti tih podataka. Osim toga, indikatori vezani za ponašanje vozača nisu precizni i najčešće se prikupljaju snimanjem ili metodom ankete (bilo nasumičnim uzorkom ili unapred određenog broja i profila ispitanika). U zemljama koje nemaju ažurne i uspostavljene baze podataka o saobraćajnim nezgodama i indikatorima ponašanja zasnovanim na metodološki uspostavljenim snimanjima, ocena stanja bezbednosti saobraćaja može biti izvršena na osnovu indikatora dobijenih anketama, odnosno samoprijavljenim ponašanjem. Ovakav način je prikladan, jer donosioci odluka i bez kvalitetnih baza podataka imaju mogućnost da na relativno jednostavan način sprovedu ocenu stanja i rangiranje regiona u pogledu bezbednosti saobraćaja. Međutim, ovako prikupljeni podaci predstavljaju subjektivno mišljenje o sopstvenom ponašanju izraženo lingvističkim varijablama pa takvi numerički podaci koji opisuju kvalitativni fenomen su već po svojoj prirodi neprecizni, nesigurni, nejasni i ponekad dvosmisleni (Deng et al., 2011; Zhu & Hipel, 2012). Imajući sve navedeno u vidu, motiv istraživanja je proistekao iz izazova da je u naučnom smislu posebno značajno definisanje metodologije za modeliranje kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja, uzimajući u obzir nesigurne i neprecizne indikatore, kako bi, naročito u zemljama u razvoju koje nemaju ažurne i uspostavljene baze podataka o saobraćajnim nezgodama i pokazateljima, a kakva je većina zemalja u regionu, bilo moguće sprovoditi pouzdanu ocenu stanja bezbednosti saobraćaja.

Osim navedenog, korišćenje višekriterijumskih metoda za kreiranje kompozitnog indeksa i neka njihova ograničenja mogu biti izvor nesigurnosti i pouzdanosti dobijenih rezultata. Na primer, konačni rezultat može zavisiti od izbora tehnike za transformaciju podataka (Liao & Wu, 2019), od izbora *MCDM* metode koja može biti neodgovarajuća (Cheng & Li, 2001), od izbora metode za ponderisanje (Saborido, 2018), itd.

Agregiranje većeg broj pokazatelja u jedinstveni kompozitni indeks moguće je primenom raznih tehnika i matematičkih i statističkih alata. Neke od često korišćenih metoda u literaturi su: *PCA* (Nardo et. al, 2005; Al Haji, 2007; Hermans et al., 2009a; Omrani et al., 2020a; OECD, 2008), *FA* (Nerdo 2005; Pennoni, 2005; Hermans et al., 2009a), entropija (Chen et al., 2015; 2016), *BA* (Pešić, 2011; Hermans et al., 2009a; OECD, 2008), *AHP* (Nardo et. al, 2005; Hermans et al., 2009a), *DEA* (Nardo et. Al., 2005, Hermans et al., 2009a, Shen et al., 2011b; 2012; Antić et al., 2019; Grdinić-Rakonjac & Antić, 2020), *EW* (Al Haji, 2007; Hermans et al., 2009a), *TOPSIS* (Bao et al., 2012; Chen, 2015), *GRA* (Ma et al., 2011; Liu et al., 2017; Grdinić-Rakonjac et al., 2021a).

Jedan od problema u oceni stanja bezbednosti saobraćaja predstavlja različita vrsta podataka (diskretni, intervalni, determinisani, neprecizni, stohastički i sl.) kojima se opisuju različita polja bezbednosti, a koje bi trebalo obuhvatiti jednom konačnom ocenom. U literaturi

je zastupljen veliki broj linearnih i geometrijskih tehnika obrade ali i gorepomenute metode višeatributivnog odlučivanja. Uprkos prikazanoj raznovrsnosti metoda, ne postoji jedan standardizovan metod koji bi bio optimalan. Koja od metoda će biti primenjena je odluka koja zavisi od istraživača ali i od samog problema koji se analizira. Izbor se može izvršiti u odnosu na podatke kojima se raspolaže, složenosti njihovog modeliranja i konačno, u odnosu na cilj kom se teži (Ishizaka & Nemery, 2013).

Tehnika matematičkog linearnog programiranja, Analiza obavijanja podataka (Data Envelopment Analysis – *DEA*), se pokazala posebno podesnom. *DEA* pruža mogućnost kombinovanja raznorodnih veličina s ciljem računanja relativne efikasnosti sistema što je pogodno kada treba da se utvrdi stanje bezbednosti na određenoj teritoriji, uporedi dobijeno stanje sa stanjem na drugim teritorijama, izvrši međusobno rangiranje i odrede primeri dobre prakse koji će se uzeti kao reperi u daljem unapređenju bezbednosti saobraćaja. Konačan motiv za izbor teme ove doktorske disertacije je korišćenje unapređene višeslojne analize obavijanja podataka za agregaciju ponašanja, percepcije i drugih relevantnih (direktnih i indirektnih) indikatora smještenih na hijerarhijskoj strukturi, s ciljem kreiranja pouzdanog kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja na određenoj teritoriji kada su na raspolaganju nesigurni i neprecizni pokazatelji bezbednosti saobraćaja.

1.2. Predmet i naučni cilj istraživanja

U većini društveno-odgovornih zemalja se sprovode istraživanja i studije koje za cilj imaju smanjenje broja saobraćajnih nezgoda, a naročito broja poginulih lica. Razvoj metodologije za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja predstavlja imperativ u procesu upravljanja i unapređenja bezbednosti saobraćaja. U skladu sa navedenim, predmet disertacije biće:

- ✓ Definisane i analiza faktora koji utiču na bezbednost saobraćaja na teritoriji;
- ✓ Modeliranje ulaznih podataka koji će biti implementirani u metodologiju ocenjivanja bezbednosti saobraćaja;
- ✓ Definisane i razvoj procedura za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja koji će omogućiti sveobuhvatno sagledavanje svih aspekata bezbednosti;
- ✓ Definisane novog modela za implementiranje većeg broja indikatora koji će obuhvatiti ponašanje i percepciju vozača u jedinstveni kompozitni indeks.

Primarni naučni cilj ove disertacije je razvoj novog integralnog metoda *iDEA* za kreiranje jedinstvenog kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja na teritoriji, sa posebnim akcentom na manje pouzdane/precizne podatke.

S obzirom na sveobuhvatnost primarnog cilja, naučni ciljevi doktorske disertacije su:

- Razvoj novog metodološkog okvira za modeliranje nepouzdanih i nepreciznih podataka i njihove primene za ocenjivanje stanja bezbednosti u najboljoj mogućoj meri;
- Razvoj proširene hijerarhijske strukture indikatora bezbednosti saobraćaja, sa posebnim osvrtom na metod prikupljanja;
- Razvoj analize obavijanja podataka u cilju ispitivanja uticaja svih pojedinačnih indikatora bezbednosti saobraćaja na konačnu ocenu teritorije;
- Primena analize obavijanja podataka za definisanje ranga i identifikovanje teritorija koje bi predstavljale uzor za donošenje mera i strategija, sa predlogom oblasti prioriternih za unapređenje;
- Razvoj novog metodološkog okvira za nadgradnju analize obavijanja podataka u cilju dobijanja pouzdanijih rezultata.

1.3. Polazne hipoteze

Na osnovu predmeta i cilja istraživanja, doktorka disertacija zastupa polaznu hipotezu da se definisanjem odgovarajućeg metodološkog okvira može izvršiti kvalitetno i sveobuhvatno ocenjivanje stanja bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom na teritoriji kada su na raspolaganju nepouzdati i neprecizni podaci, kao i odrediti konkretne oblasti koje bi trebalo unaprediti.

Pomoćne hipoteze disertacije su:

- ❖ Primena hijerarhijske strukture indikatora utiče na krajnju ocenu bezbednosti saobraćaja;
- ❖ Primenom analize obavljanja podataka, za svaku teritoriju se može definisati stepen uticaja indikatora na konačnu ocenu bezbednosti;
- ❖ Integracija metoda teorije sivih sistema u analizu obavljanja podataka uspešno otklanja ograničenja *DEA* metode vezana za zavisnost broja ulaznih i izlaznih podataka od broja teritorija ali i doprinosi konačnom i pouzdanijem rangiranju teritorija.
- ❖ Na osnovu ocene bezbednosti koja se zasniva na integraciji analize obavljanja podataka i metoda za tretiranje nesigurnosti, može se u potpunosti definisati rang i izvršiti benčmarking teritorija.

1.4. Metode istraživanja i ograničenja

S obzirom da se sveobuhvatna ocena bezbednosti saobraćaja opisuje sa većim brojem kako kvalitativnih tako i kvantitativnih indikatora, problem agregacije u jednu vrednost je tretiran tehnikom linearnog matematičkog programiranja, analizom obavljanja podataka (*DEA*). Osim toga, pored osnovnih naučnih metoda (analiza, sinteza, indukcija, dedukcija itd.), u radu su korišćene metode deskriptivne i analitičke statistike (*ANOVA*, regresiona analiza, Spermanov test), komparativna analiza, analiza osetljivosti, klaster analiza, metode univarijantne i multivarijantne statistike za otkrivanje odstupanja –z vrednost i Mahalanobisova distance, *FANMA* objektivni metod otežavanja kriterijuma, kao i metode zasnovane na nesigurnosti i nepreciznosti kao što su siva relaciona analiza i sivi brojevi. Prilikom prikupljanja podataka koji su neophodni za izradu ove doktorske disertacije, korišćen je metod ankete i ekspertska ocena. Osnovno ograničenje u istraživanju je nepostojanje relevantne baze podataka, iz čega proističe zahtevnost i dugotrajnost procesa sprovođenja anketa i prikupljanja podataka o percepciji i ponašanju.

1.5. Prikaz sadržaja doktorske disertacije

Imajući u vidu temu i prethodno definisane ciljeve, disertacijsko istraživanje se sastoji iz osam glavnih celina – poglavlja.

Prvo poglavlje predstavlja uvodni deo disertacije u sklopu koga je opisan značaj ocene stanja bezbednosti saobraćaja i predstavljen glavni motiv istraživanja. Osim toga, prikazan je predmet istraživanja i očekivani naučni cilj kom se teži. Postavljene su početne hipoteze, a prikazani su i naučni metodi koji su korišćeni u toku istraživanja.

U drugom poglavlju je dat osvrt na metodologiju kreiranja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja i prikazani su glavni koraci u tom procesu: izbor indikatora, ponderisanje, agregacija i dodatno, benčmarking. Može se reći da ovo poglavlje predstavlja svojevrsni pregled literature iz pomenute oblasti, dajući prikaz metoda koji se koriste prilikom kreiranja *CI* i izdvajajući analizu obavljanja podataka kao najzastupljeniju, приказујући istovremeno njene prednosti i nedostatke.

Treće poglavlje predstavlja uvid u problematiku koja se javlja usled različitih karakteristika prikupljenih podataka kojima se opisuju indikatori bezbednosti. Prikazani su metodološki pristupi kojima se identifikovani nedostaci mogu ublažiti ili u potpunosti izbeći.

Četvrto i peto poglavlje predstavljaju srž doktorske disertacije. U četvrtom poglavlju razvijen je novi metodološki pristup za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom. Prikazana je integracija više metoda u jedan hibridni metod – *iDEA*, koji predstavlja nov način za kreiranje pouzdane ocene stanja bezbednosti na teritoriji od nepouzdanih i nesigurnih podataka.

Razvijena integrisana metodologija je verifikovana primenom na studiji slučaja u Crnoj Gori, što je i prikazano u petom poglavlju. U sklopu ovog poglavlja predstavljeno je istraživanje percepcije i ponašanja učesnika u saobraćaju u Crnoj Gori i dat je uvid u razlike određenih kategorija (u odnosu na pol, starost i iskustvo).

Verifikacija novog modela je izvršena i poređenjem sa drugim relevantnim metodama, a to je prikazano u okviru šestog poglavlja. U sklopu ovog poglavlja prikazana je i *SWOT* analiza, posebno ističući prednosti, nedostatke, slabosti i pretnje prilikom primene *iDEA* indeksa za ocenu bezbednosti.

Zaključna razmatranja prikazana su u sklopu sedmog poglavlja, pri čemu su istaknuti glavni naučni doprinosi razvijenog modela, mogućnosti praktične primene. Na kraju, dati su pravci daljih istraživanja koje je otvorila primena razvijenog modela za ocenu stanja bezbednosti na teritoriji.

2. METODOLOGIJA ZA KREIRANJE KOMPOZITNOG INDEKSA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Ocena stanja bezbednosti i poređenje između teritorija su se najpre zasnivala na poređenju veličine posledica u saobraćajnim nezgodama (direktnim pokazateljima) kao na primer broj nezgoda, broj poginulih lica, itd. Nakon toga su autori (PIN izveštaji, Wegman et al., 2005; Hermans et al., 2006; Elvik et al., 2009) počeli da porede rizik koji se definisao odnosom nekog od ishoda (najčešće broja poginulih) i mere izloženosti (npr. broja pređenih kilometara, broja stanovnika i sl.). da bi se potom okrenuli poređenju indikatora bezbednosti kao humanijem pristupu, s obzirom da se na taj način mogu sagledati kritični aspekti u njihovoj ranoj fazi a pre nego dođe do nezgoda i njihovih posledica (ETSC, 2001; Luukkanen, 2003). Međutim, jednostavno poređenje pojedinačnih indikatora može samo donekle predstaviti stanje bezbednosti ali i navesti na pogrešne zaključke s obzirom da se sistem upravljanja bezbednošću može razlikovati od teritorije do teritorije. Pokazalo se i da rezultati poređenja u navedenim slučajevima nisu konzistentni i da zavise od izabranog indikatora (Folla et al., 2021). Vremenom se razvio pristup opisivanja stanja metodom kompozitnog indeksa (*Composite Index, CI*) koji je agregiran na osnovu većeg broja pokazatelja i indikatora. U Vodiču za kreiranje kompozitnog indikatora (Nardo et al., 2005; OECD, 2008) definisani su osnovni koraci a, kao najznačajniji izdvojili su se:

1. Izbor relevantnih indikatora bezbednosti saobraćaja;
2. Dodela težinskih koeficijenata svim izabranim indikatorima (ponderisanje);
3. Agregacija u jedinstvenu vrednost.

U nastavku ovog poglavlja biće opisan svaki od koraka u sklopu kojih će biti prikazana dosadašnja praksa u postupku izbora indikatora i korišćenih metodologija za dodelu težinskih koeficijenata i agregaciju prilikom konstruisanja kompozitnog indeksa u oblasti bezbednosti saobraćaja.

2.1. Izbor indikatora

Kompleksnost i multidisciplinarni kontekst bezbednosti saobraćaja na određenoj teritoriji se korišćenjem kompozitnog indeksa može prikazati jedinstvenom kvantitativnom merom, što predstavlja prednost u odnosu na korišćenje individualnih indikatora (Gitelman et al., 2010). Kako bi ta ocena bila pouzdana i relevantna, izbor indikatora kao prvi korak predstavlja veoma važan i zahtevan zadatak jer konačna ocena u najvećoj meri zavisi upravo od tog izbora (Hermans, 2009). Najpre treba fenomenološki analizirati problem, postaviti cilj kom se teži i definisati njegove podkategorije, takozvane domene bezbednosti unutar kojih će se birati relevantni indikatori. S obzirom da definisanjem problema započinje razvoj seta indikatora (Hakkert et al., 2007), neki od autora (Nardo et al., 2005; Al Haji 2007; Hermans et al., 2009a; Pešić, 2012; itd.) su se bavili kreiranjem metodološke osnove i kriterijuma za proces izbora indikatora. Zajedničko za sve predložene metodologije je da se u prvom koraku definiše

lista potencijalnih indikatora a u drugom koraku kriterijumi na osnovu kojih će se izvršiti odabir. Hermans (2009) je predstavila tzv. indikatorsku karticu (koja je nadgradnja indikatorske kartice koju je kreirao Hens et al. (2005)) kojom se pravi pregled karakteristika svakog indikatora pojedinačno. Da bi bili izabrani, indikatori moraju zadovoljiti kriterijume kao što su: dostupnost, razumljivost, relevantnost, pouzdanost, uporedivost, osetljivost i specifičnost.

Izabrani indikatori se mogu grupisati u domene koji odražavaju faktore koji doprinose nastanku saobraćajnih nezgoda (i uvećanju posledica). Kako nedostupnost pouzdanih i uporedivih podataka u određenoj meri ograničava upotrebu željenih indikatora, mnogi autori u svojim istraživanjima koriste najbolje-dostupne iz svakog domena. S druge strane, ukoliko je dostupan veliki broj indikatora neophodno je implementirati redukovani broj (Bird et al., 2005). Izbor domena i indikatora zavisi i od konkretnog cilja istraživanja, a u nastavku je prikazan literarni pregled razvoja domena i pripadajućih indikatora koji su korišćeni u dosadašnjoj praksi kreiranja kompozitnog indeksa.

Tri tradicionalna domena su čovek-vozač (ponašanje), vozilo i put (ETSC, 2001). Prva grupa (čovek-vozač) je posledica potrebe za razvijanjem indikatora performansi bezbednosti saobraćaja (*Safety Performance Indicators, SPI*) koji su uzročno povezani sa nezgodama i mogu se (pored broja nezgoda i veličine posledica) koristiti kako za razumevanje procesa koji dovode do nastanka saobraćajne nezgode tako i kao pokazatelji stanja bezbednosti na nekoj teritoriji. Indikatori koji se tiču ponašanja vozača su vožnja brzinom većom od dozvoljene, vožnja pod uticajem alkohola, korišćenje zaštitnih sistema i sl. Indikatori iz domena vozila su veličina i stanje voznog parka, starost vozila i sl., a iz domena puta su gustina mreže, dizajn, stanje i opremljenost puteva, veličina protoka itd. Osim pomenutih, predstavljeni su dodatni indikatori kao što su upravljanje povredama nakon nezgode, stanje i struktura medicinskog servisa za hitne slučajeve i drugi.

U okviru prvog *SUNflower* projekta (Koornstra et al., 2002) je predstavljena piramidalna struktura domena bezbednosti saobraćaja koja je velikom broju daljih istraživanja poslužila kao osnova pri izboru indikatora, a koju čine struktura i kultura stanovništva, postojanje strategije i akcionih planova za unapređenje bezbednosti saobraćaja, mere i programi za unapređenje bezbednosti saobraćaja, indikatori bezbednosti saobraćaja, konačni ishodi¹ i ukupni društveni troškovi. U sklopu istog projekata, Wegman et al. (2005; 2008) i Morsink et al. (2007) su implementirali samo osnovne indikatore iz svih nivoa piramide i svrstali ih u četiri osnovne grupe i to: indikatori koji se tiču primenjenih mera², konačni ishodi, međuishodi³ i opšte karakteristike teritorije.

Al Haji (2007) je prilikom konstruisanja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja (*RSDI*) predložio podelu indikatora na tri domena: bezbedniji čovek, bezbedniji sistem i bezbedniji proizvod. U sklopu svakog domena je jedan ili više kvantitativnih indikatora čija je implementacija i primena uslovljena dostupnošću podataka i to: saobraćajni rizik, javni rizik, bezbednost vozila, stanje puta, ponašanje učesnika u saobraćaju, socio-ekonomsko stanje, upravljanje saobraćajem i saobraćajna regulativa.

U okviru projekta *SafetyNET* (Hakkert et al., 2007; Vis & Eksler, 2007; Vis & Van-Gent, 2008), a prateći preporuke ETSC (2001), definisano je sedam domena bezbednosti koji su, sa više ili manje varijacija najčešće korišćeni, a to su: alkohol, brzina, sistemi zaštite na vozilu, dnevna svetla, vozilo, put i zdravstvena zaštita. S obzirom da uticaj korišćenja dnevnih svetala

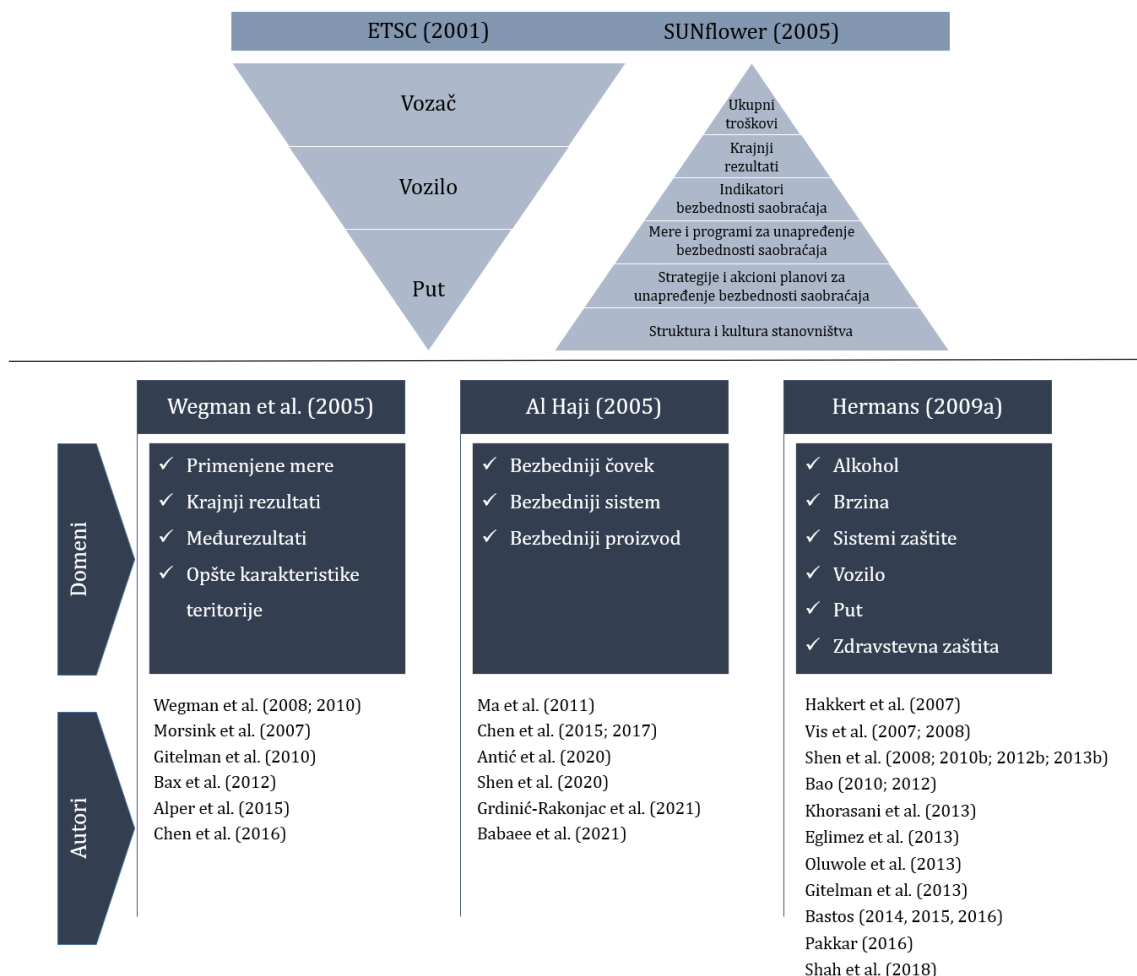
¹ Engl. final outcomes – U literaturi iz oblasti bezbednosti saobraćaja, termin „konačni ishodi“ se odnosi na konačne rezultate saobraćajnih nezgoda i predstavlja se brojem saobraćajnih nezgoda, brojem poginulih lica, brojem povređenih i sl.

² Engl. policy performance – U literaturi na srpskom jeziku se koristi i termin „indikatori performansi politika bezbednosti saobraćaja“, a kojima se opisuju institucionalni okvir, strategije i mere za povećanje bezbednosti ali i kvalitet njihove implementacije.

³ Engl. intermediate outcomes – U literaturi na srpskom jeziku se koristi i termin „međuzlazni rezultati“, a odnosi se na indikatore kojima se opisuje ponašanje učesnika u saobraćaju.

na bezbednost nije u potpunosti sagledan i stručnjaci koji se bave bezbednošću saobraćaja ga smatraju najmanje uticajnim domenom (Bao et al., 2012) a dostupnost i kvalitet samih podataka veoma loši, Hermans et al. (2009a) je kreirala konačnu listu domena u koju spadaju alkohol, brzina, sistemi zaštite na vozilu, vozilo, put i zdravstvena zaštita. Elke Hermans je jedna od najzastupljenijih autora u literaturi iz oblasti kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja čija istraživanja predstavljaju polaznu osnovu u novijoj generaciji istraživanja i razvoja metodologija za konstruisanje jedinstvene ocene bezbednosti teritorije. U svojim istraživanjima se bavila analizom osetljivosti konačne ocene (Hermans et al., 2007; 2009b) dobijene metodologijom predložene u Nardo et al. (2005) kao i metodološkim okvirima dodele težinskih koeficijenata i agregacije izabranih indikatora (Hermans et al., 2008a; 2008b; 2009a; 2009b; 2010a; 2010b). Njenu klasifikaciju domena u svojim istraživanjima usvojili su mnogi autori među kojima su i Shen et al. (2010b; 2012; 2013b), Bao (2010), Bao et al. (2012), Khorasani et al. (2013), Egilmez & McAvoy (2013), Oluwole et al. (2013), Bastos et al. (2014; 2015), Pakkar (2016), Shah et al. (2018), Tešić (2018) i dr. Sumirani prikaz najčešće korišćenih domena i spisak autora koji su ih koristili dat je na Slici 1.

Nedostatak podataka, nesigurnost onih koji su dostupni ali i specifičnosti cilja istraživanja uzrok je što su u mnogim radovima koji se bave konstruisanjem kompozitnog indeksa korišćeni samo direktni pokazatelji ili samo oni koji su bili dostupni, a koji se ne mogu uvrstiti ni u jednu od pomenutih klasifikacija (Sutiwipakorn & Prechaverakul, 2002; Ma et al. 2011; Egilmez & McAvoy, 2013; Shen et al., 2012; 2013a; 2015a; Behnood et al., 2014; 2020; Alper et al., 2015; Liu et al., 2017; Rosić et al., 2017; Amini et al., 2019; Mikšová et al., 2018; Castro-Nuño et al., 2018; Nikolaou & Dimitriou, 2018; Utriainen et al., 2018; Ganji & Rassafi, 2019a,b; Ganji et al. 2019; 2020; Omrani et al., 2020a).



Slika 1. Kategorizacija domena

Takođe, autori su se bavili i kreiranjem podindeksa koji će predstavljati ocene nekog od domena a koji dalje mogu biti implementirani u metodologiju za kreiranje sveobuhvatnog indeksa bezbednosti. S tim ciljem Gitelman et al. su kreirali podindekse bezbednosti dece (Gitelman et al., 2013a) i zdravstvene zaštite (Gitelman et al. 2013b); Babae et al. (2014) su konstruisali podindeks vezan za performanse vozača; Yannis et al. (2013), Gomes et al. (2018) i Fancello et al. (2020) su se bavili kreiranjem podindeksa za puteve i putnu mrežu, a Jameel & Evdorides (2019, 2021) su koristili negativno ponašanje učesnika u saobraćaju kako bi kreirali jedinstvenu ocenu ponašanja.

Osim prethodno navedenog, izbor indikatora koji će se koristiti zavisi i u odnosu na sam cilj istraživanja i metodologija procesa prikupljanja. Načini za prikupljanje podataka i problemi koji se mogu javiti u tom postupku su opisani u nastavku.

2.1.1. Prikupljanje podataka

Pouzdanost kompozitnog indeksa bazira se na podacima od kojih je konstruisan a njegov kvalitet bi trebalo da se poboljšava paralelno sa poboljšanjem kvaliteta prikupljenih podataka i razvojem korišćenih indikatora (Hermans, 2009). Podaci mogu biti različiti i zavise od samog cilja istraživanja. Obim saobraćaja, broj stanovnika, broj vozila, broj pređenih kilometara i broj putničkih kilometara se uglavnom koriste kao mera izloženosti koja služi za definisanje stepena izloženosti. Stepem izloženosti predstavlja jedan od načina za objektivno poređenje između teritorija različitih veličina, a u literaturi vezanoj za bezbednost saobraćaja definiše se ili kao količina kretanja unutar saobraćajnog sistema (Hermans et al., 2006) ili kao količina kretanja pri kojoj postoji mogućnost da se dogodi saobraćajna nezgoda (Elvik et al., 2009). Izloženost predstavlja ključni element u nastanku nezgode pa je adekvatna procena rizika važna u meri koliko i dostupnost pouzdanih podataka o broju poginulih u nezgodama (Bastos, 2014). Odnos između određene vrste posledica i mere izloženosti (kao na primer broj poginulih u odnosu na broj putničkih kilometara) predstavlja najčešći (i najstariji) način za merenje i međusobno poređenje stanja bezbednosti na nekoj teritoriji (u literaturi poznat kao PIN izveštaj) ali se koristi i danas kao jedan od indikatora za konstruisanje kompozitnog indeksa. Prikupljanje podataka o npr. obimu saobraćaja se vrši brojanjem (ručnim ili automatskim) dok su podaci o broju motornih vozila, nezgoda itd. uglavnom dostupni u sklopu relevantnih baza podataka (najčešće dostupnih na internetu) raznih nacionalnih i međunarodnih službi (policije, zdravstvenih ustanova, zavoda za statistiku i dr.).

Jedan od važnijih domena prilikom kreiranja kompozitnog indeksa je domen kome pripadaju indikatori performansi bezbednosti saobraćaja (*SPI*) koji predstavljaju meru ponašanja vozača u saobraćaju, a najčešće se koriste: procenat vozila koja se kreću brzinom većom od propisane, procenat vozača koji ne koriste sigurnosni pojas, procenat vozača koji upravljaju vozilom pod dejstvom alkohola ili koriste mobilni telefon u toku vožnje, itd. Neki od ovih podataka se mogu prikupiti snimanjem ili uvidom u bazu podataka nadležnih institucija o saobraćajnim prekršajima (broj lica koji su kažnjeni zbog nepropisnog ponašanja) i sl. Iako su ovi podaci kvantitativni, zbog velikog broja razloga (o čemu će biti reč u narednom poglavlju) se smatraju nepotpuno sigurnim i preciznim.

Kada potrebni podaci nisu dostupni (što je uglavnom slučaj u slabo razvijenim i nerazvijenim zemljama) ili kada je njihovo poređenje između teritorija ograničeno, postoje određeni alati i tehnike kojima se oni mogu prikupiti. Jedan od načina je korišćenje takozvanih proksi podataka (*proxy*), odnosno podataka – zastupnika, koji u proračunima mogu „igrati ulogu“ potrebnih podataka. Pri korišćenju proksija se mora voditi računa i preporučljivo je da se, pre implementacije u metodologiju za kreiranje kompozitnog indeksa njihova tačnost proveriti korelacionom analizom i analizom osetljivosti (OECD, 2008). Drugi način kojim se može doći do relativno pouzdanih podataka jeste metod anketiranja. Anketiranje se uglavnom vrši u cilju prikupljanja informacija o ponašanju (samoprijavljeno ponašanje), stavovima i percepciji učesnika u saobraćaju na nekoj teritoriji. Anketiranje je takođe jedini način na koji se može

obezbediti povratna informacija za kreiranje indikatora koji se tiču procene efikasnosti primene novih programa bezbednosti, postojanja regulatornih propisa, stanja puteva i sl. Zbog podobnosti za merenje apstraktnih stavova i ponašanja, razvijeno je psihometrijsko testiranje koje se zasniva na pitanjima sa višedimenzionalnim odgovorima pri čemu ispitanik za svako pitanje iskazuje svoj stepen slaganja. Jedna od najčešće korišćenih psihometrijskih skala je Likert-skala (Russell & Hollander, 1975; Papadimitriou & Yannis, 2013; Lovelace & Brickamn, 2013; Dinh 2020) koja nudi više kategorija odgovora i od ispitanika zahteva da svoj stav rangira sa jednom od ponuđenih opcija. Te kategorije mogu obuhvatiti bilo koji raspon ali najčešće su u rasponu do 5 ili 7 tačaka (npr. od najmanje „veoma se slažem“ do najveće „uopšte se ne slažem“ ili od „veoma dobro“ do „veoma loše“) a pouzdanost je zadovoljena kada se koriste više od četiri mogućnosti odgovora (Masters, 1975; Comrey, 1988). Glavni nedostatak vezan za korišćenje metoda ankete je nesigurnost ovako prikupljenih podataka. Naime, odgovori ispitanika su izraženi lingvističkim varijablama i po prirodi su neprecizni, nesigurni i nejasni (Shen et al., 2011a; Lin, 2014). Da bi se od nesigurnih i nepreciznih podataka kreirao indikator koji će sa ostalim indikatorima konstruisati jedinstvenu ocenu teritorije, neophodno je njihovo prethodno oblikovanje, a u zavisnosti od korišćene metodologije i njihova transformacija u uporedne vrednosti.

2.1.2. Normalizacija podataka

Bez obzira na način prikupljanja i obradu podataka, pre implementacije u metodologiju za kreiranje kompozitnog indeksa (u najvećem broju slučajeva) vrši se transformacija njihovih vrednosti, takozvana normalizacija podataka. Normalizacijom se obezbeđuje uporedivost podataka, tj. da nijedna vrednost indikatora ne dominira u odnosu na ostale (Hermans, 2009) kao i to da su svi izabrani indikatori predstavljeni u istom pravcu s obzirom na njihov očekivani uticaj na bezbednost saobraćaja (na primer da visoka vrednost bilo kog posmatranog indikatora treba da ukazuje na nizak nivo bezbednosti (Shen et al., 2012)).

Postoji veliki broj tehnika koje se koriste (Freudenberg, 2003; Nardo et al., 2005; OECD, 2008) i zavise od dostupnosti podataka, veličine uzorka (broja teritorija koje se analiziraju), vrste agregacije i od očekivanog uticaja na kompozitni indeks (Al Haji, 2007). U literaturi za kreiranje kompozitnog indeksa najčešće korišćene su opšte linearne tehnike koje mere odstojanje između stvarne vrednosti indikatora i neke referentne vrednosti (najveće, najmanje, srednje vrednosti, standardne devijacije, ciljane vrednosti itd.).

Pre normalizacije, ako je neophodno, može se pristupiti i implementaciji podataka koji nedostaju (Bax, 2012). U tom pogledu se razmatra nekoliko mogućih metoda kao što su supstitucija srednjih vrednosti, regresiona implementacija, imputacija maksimizacijom očekivanja ili višestruka implementacija. Kada je skup indikatora konačan vrši se procena njihovog uticaja (OECD, 2008), odnosno određivanje težinskih koeficijenata, tzv. ponderisanje. S obzirom da kompozitni indeks predstavlja ponderisanu kombinaciju indikatora ovaj korak ima veliki uticaj na konačni rezultat (Bax, 2012), a najčešće korišćene tehnike su opisane u narednom poglavlju.

2.2. Procena uticaja indikatora

Težinski koeficijent (ponder) svakog indikatora implementiranog u metodologiju za kreiranja kompozitnog indeksa odražava relativnu važnost indikatora na konačnu ocenu i utiče na konačan rang teritorija. Samim tim, svaka promena u metodologiji utiče i na promenu pondera (Al Haji, 2007; OECD, 2008; Hermans, 2009). U literaturi se može naći veoma veliki broj tehnika za ponderisanje, a svaki ima neke nedostatke (Booyesen, 2002). I pored činjenice da su prednosti i nedostaci pojedinih metoda detaljno izučavani (Saisana & Tarantola, 2002; Nardo et al., 2005; Al Haji, 2007; Hermans et al., 2008a; Pešić, 2012) još uvek ne postoji jedna standardizovana metodologija za kreiranje kompozitnog indeksa, a Hermans et al. (2009b) su

u svom istraživanju došli do zaključka da na konačnu vrednost kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja u velikoj meri utiče upravo primenjena metodologija za ponderisanje

Uopšteno, najčešće korišćene metode se mogu grupisati na:

- ✓ *Metode jednakih koeficijenata* – dodela iste vrednosti pondera (*Equal Weighting, EW*) svim indikatorima predstavlja najjednostavniji metod kojim se povećava transparentnost (Hermans et al. 2009a) i smanjuje subjektivnost (Chen et al., 2015) konačne ocene. Najčešće se primenjuje kod složene strukture indikatora, ukoliko nema dovoljno informacija o pojedinim pokazateljima bezbednosti i kada nijedna druga metoda ne daje relevantne rezultate;
- ✓ *Statističke metode* – koriste se kada su indikatori međusobno korelisani i svode se na redukovanje njihove međusobne povezanosti. Analiza ključnih komponenti (*Principal Component Analysis, PCA*), faktorska analiza (*Factor Analysis, FA*) i odnos zbira i ranga (*Rank-Sum Ratio, RSR*) su najčešće korišćene statističke metode;
- ✓ *Empirijske metode* – podrazumevaju dodelu težinskih koeficijenata zasnovanu na stavovima eksperata ili opšte populacije o preferentnosti indikatora. Najčešće korišćene metode su podela budžeta (*Budget Allocation, BA*) i analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process, AHP*) dok se u poslednje vreme kao alternativa AHP metodi koristi metoda najbolji-najgori (*Best-Worst Method, BWM*);
- ✓ *Metode optimizacije* – ovim metodama se prvenstveno traži najbolje rešenje prema definisanim kriterijumima, a prilikom tog procesa kriterijumima se dodeljuju težinski koeficijenti. Jedna od najpoznatijih predstavnika metoda optimizacije je analiza obavijanja podataka (*Data Envelopment Analysis, DEA*).
- ✓ *Teoretske metode* – ove metode podrazumevaju da se, na osnovu pregleda literature, definišu indikatori koji imaju psihometrijska svojstva i odredi njihov međusobni odnos. Na primer, Al Haji (2007) je utvrdio da bi 25% svih pondera trebalo dodeliti indikatorima koji se odnose na ponašanje učesnika u saobraćaju, a zbog većeg uticaja na ukupan nivo bezbednosti saobraćaja dobijenog na osnovu statističkih podataka.

Nakon izbora metode za ponderisanje, u sledećem koraku kreiranja kompozitnog indeksa potrebno je indikatore i njima odgovarajuće težinske koeficijente agregirati u jedinstveni indeks bezbednosti. Neke metode i načini agregacije su izdvojeni i prikazani u narednom poglavlju.

2.3. Agregacija izabranih indikatora

Agregacija predstavlja proces kombinovanja većeg broja indikatora u jedinstveni indeks na način da konačni rezultat na specifičan način uzima u obzir sve pojedinačne vrednosti indikatora (Hermans, 2009). Najčešće korišćene metode agregacije su:

1. linearna agregacija,
2. geometrijska agregacija i
3. nekompezacijski višekriterijumski pristup.

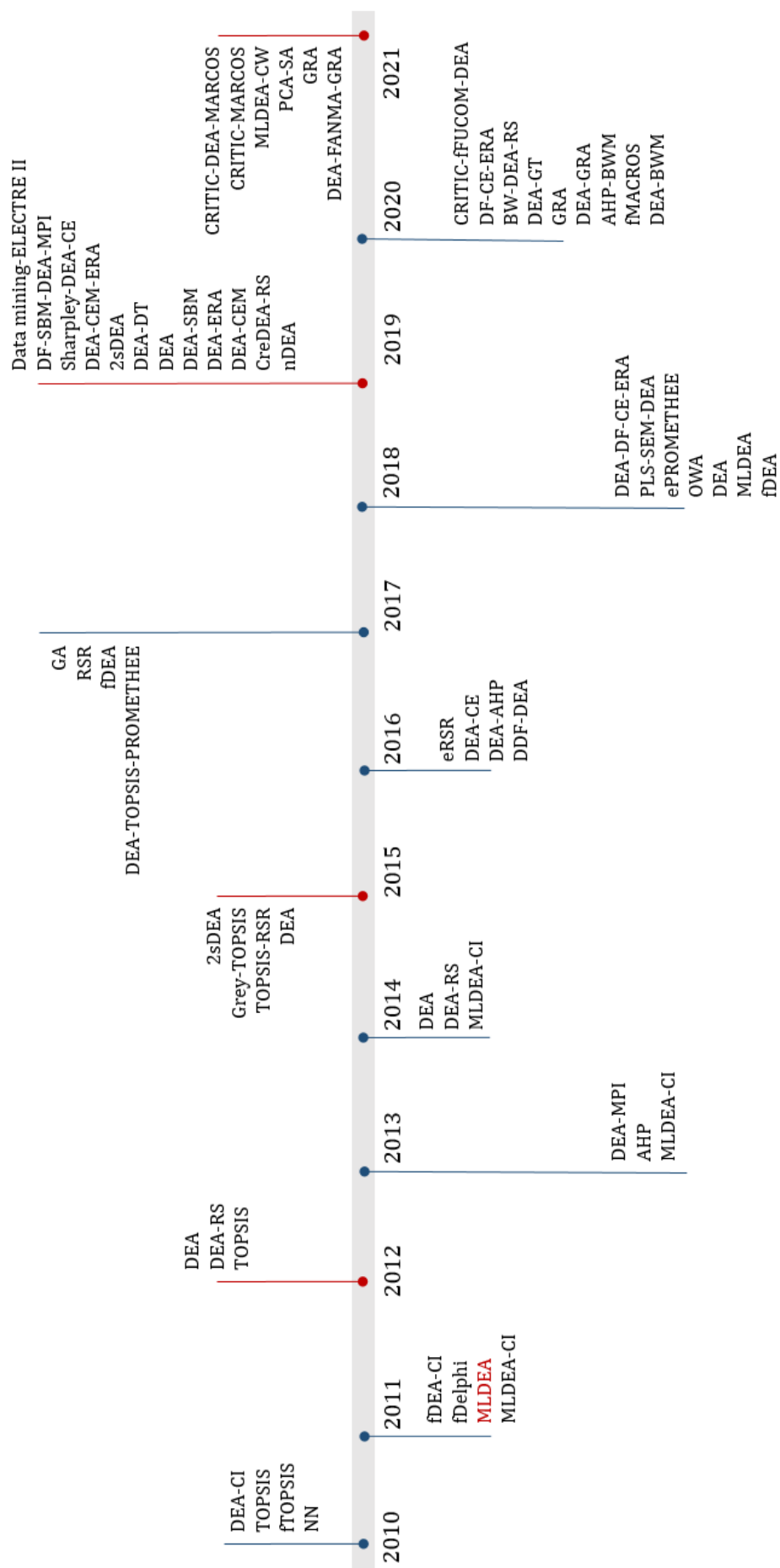
Linearna (ili aditivna) agregacija je relativno laka za korišćenje i uglavnom se koristi kada pojedinačni indikatori imaju iste merne jedinice. Glavni nedostatak je to što dozvoljava kompenzovanje ekstremnih vrednosti indikatora (veoma velika vrednost nekog indikatora će se ublažiti veoma malom vrednošću drugog indikatora, i obrnuto) što rezultira pristrasnom konačnom ocenom koja ne odražava u potpunosti pojedinačne indikatore. Geometrijska agregacija donekle rešava problem kompezacije. Iako je dozvoljava, ona je niža za indikatore sa manjim vrednostima jer da bi se ublažila nepovoljna vrednost indikatora potrebne su mnogo veće vrednosti ostalih indikatora. S druge strane, geometrijska agregacija je osetljivija na ulazne podatke pa malo povećanje ulazne vrednosti indikatora uzrokuje veliku promenu rezultata (OECD, 2008).

U Priručniku za konstruisanje kompozitnog indikatora (OECD, 2008) je navedeno da su proces višekriterijumskog odlučivanja i proces konstruisanja kompozitnog indeksa ekvivalentni sa formalne tačke gledišta i da su pravila višekriterijumskog odlučivanja relevantna za razumevanje pravila agregacije pri kreiranju kompozitnog indeksa. Kao posledica toga, u oblasti saobraćaja i transporta zastupljeno je korišćenje metoda višekriterijumskog odlučivanja (*Multi-Criteria Decision Methods, MCDM*) za ponderisanje i agregaciju. Mardani et al. (2015) navodi da više od 19% naučne literature vezane za *MCDM* metode je upravo iz pomenute oblasti, dok je preko 16% vezano za drumski saobraćaj. Stoga ne iznenađuje primena *MCDM* metoda za ocenu bezbednosti kompozitnim indeksom s obzirom da pružaju mogućnost da se u jednu ocenu implementiraju indikatori različitih jedinica i veličina i da se na osnovu rezultata izvrši sortiranje i rangiranje teritorija, definisanje najbolje prakse i prioriternih polja koje je potrebno unaprediti i analiziranje promene vrednosti indikatora u toku vremena.

Prilikom ocene stanja bezbednosti često se metode koje se koriste za dodelu težinskih koeficijenata koriste istovremeno i za agregaciju, a neke od najčešće korišćenih metoda su:

- faktorska analiza (*Factor Analysis, FA*, Nardo et. al, 2005; Pennoni et al., 2005; Hermans et al., 2009a),
- analiza glavnih komponenti (*Principal Component Analysis, PCA*, Nardo et. al, 2005; Al Haji, 2007; OECD, 2008; Hermans et al., 2009a; Omrani, 2020a),
- raspodela budžeta (*Budget Allocation, BA*, OECD, 2008; Hermans et al., 2009a; Pešić, 2013),
- analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process, AHP*, Nardo et. al, 2005; Hermans et al., 2009a),
- metoda jednakih pondera (*Equal Weighting, EW*, Al Haji, 2007; Hermans et al., 2009a; Khorasani, 2013; Pakkar 2016),
- tehnika za redosled prioriteta prema sličnosti sa idealnim rešenjem (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS*, Bao et al., 2012; Chen et al., 2015; Cao et al., 2015; Chen et al., 2015; Qazvini et al., 2016; Rosić et al., 2017; Omrani 2020b),
- uređena prosečna ponderisana funkcija (*Ordered Weighted Averaging, OWA*, Hermans et al., 2008a; Hermans, 2009; Hermans et al., 2010b; Tešić, 2018; Ganji et al., 2020);
- pristup činjeničnog zaključivanja (*Evidential Reasoning Approach, ERA*, Ganji & Rassafi, 2019b; Ganji et al. 2019; 2020),
- siva relaciona analiza (*Grey Relational Analysis, GRA*, Cao et al., 2015; René et al., 2016; Grdinić-Rakonjac et al., 2021a; Antić, et al. 2022) i dr.

Uprkos prikazanoj raznovrsnosti *MCDM* metoda, ne postoji jedan standardizovan metod koji bi bio optimalan. Koja od metoda će biti primenjena je odluka koja zavisi od istraživača ali i od samog problema koji se analizira. Izbor se može izvršiti u odnosu na podatke kojima se raspolaže, složenosti njihovog modeliranja i konačno, u odnosu na cilj kom se teži (Ishizaka & Nemery, 2013). Uz to, svaka od metoda ima prednosti i mane i ne postoji striktno pravilo koje će utvrditi koja metoda ima više smisla od druge u određenoj situaciji. Hermans et al. (2008b) su vršili istraživanje opravdanosti pet najčešće korišćenih metoda za kreiranje kompozitnog indeksa (*FA, AHP, BA, DEA, EW*) i utvrdili da najveću korelaciju sa rangom baziranim na javnom riziku (broju poginulih na milion stanovnika) ima rang teritorija dobijen u odnosu na rezultate analize obavljanja podataka (*DEA*). *DEA* se izdvojila kao naročito pogodna i najčešće korišćena metoda za ocenu relativnih performansi teritorija, što se može videti i sa Slike 2. Rosić et al. (2017) su analizirali nekoliko varijanti metoda baziranih na *DEA* i *TOPSIS* i utvrdili da je najrobustniji rang teritorija onaj koji je baziran na *DEA* metodologiji. *DEA* je očigledno značajna i korisna u kontekstu ocene bezbednosti saobraćaja i rezultira korisnim problemom optimizacije.



Slika 2. Razvoj metoda za kreiranje kompozitnog indeksa

2.3.1. Analiza obavljanja podataka – DEA

Analiza obavljanja podataka pripada grupi metoda za višekriterijumsko odlučivanje. *DEA* je neparameterska tehnika linearnog programiranja za merenje efikasnosti jedinica odlučivanja (*Decision Making Units, DMU*) sa višestrukim ulaznim i izlaznim veličinama. Standardni oblik *DEA* metodologije (*CCR*), koji su razvili Charnes et al. (1978) oslanjajući se na Farrell (1957), podrazumeva procenu relativne efikasnosti svake *DMU* uključene u analizu kao količnik sume ponderisanih izlaza i sume ponderisanih ulaza. Ono što razlikuje *DEA* od ostalih višekriterijumskih metoda je to da uticajne faktore (pondera) ulaznih i izlaznih podataka ne određuje donosilac odluke već *DEA* omogućava svakoj *DMU* da izabere set optimalnih težinskih koeficijenata koji će maksimizirati sopstvenu ocenu efikasnosti. Pritom, postavljaju se ograničenja da efikasnost ne može biti veća od 1 i da dodeljeni težinski koeficijenti moraju biti pozitivne vrednosti. U takvom okruženju *DEA* procenjuje efikasnost svake jedinice odlučivanja u odnosu na sve ostale koje su uključene u analizu. Sve efikasne *DMU* (ocena efikasnost jednaka 1) čine granicu efikasnosti koja „obavlja“ ostale analizirane jedinice odlučivanja koje se nalaze ispod granice i definišu se kao neefikasne (po čemu je ova metoda i dobila ime). *DEA* podrazumeva da nijedna *DMU* ne može biti smeštena iznad granice efikasnosti što dalje implicira da *DEA* računa relativnu a ne apsolutnu efikasnost. Stoga je verovatno da i *DMU* koje se nalaze na granici efikasnosti mogu poboljšati svoje performanse.

Veličine koje se agregiraju u *DEA* moraju zadovoljiti određene kriterijume (Cooper et al., 2006) i to:

1. svaka *DMU* mora biti opisana istim ulaznim i izlaznim veličinama,
2. ulazne i izlazne veličine ne moraju biti u istim mernim jedinicama (jednorodne) i ne moraju biti normalizovane,
3. ulazne i izlazne veličine moraju biti pozitivne,
4. cilj je smanjiti ulazne veličine a povećati izlazne pa bi mera efikasnosti trebalo da to odražava,
5. trebalo bi zadovoljiti princip da se povećanjem bilo koje ulazne veličine vrši povećanje izlazne pri čemu ne dolazi do smanjenja bilo koje druge ulazne veličine (Pareto optimum),
6. mora se obezbediti da broj jedinica odlučivanja bude u optimalnom odnosu sa ukupnim brojem ulaznih i izlaznih veličina.

Broj ulaznih i izlaznih veličina u poređenju sa brojem jedinica odlučivanja (*DMU*) uključenih u analizu predstavlja važan segment *DEA* metode s obzirom da neracionalan odnos ovih veličina može smanjiti diskriminacionu snagu i onemogućiti potpuno rangiranje *DMU* prema njihovoj oceni efikasnosti. Golany & Roll (1989) su u svom radu predstavili osnovno pravilo po kome broj *DMU* treba da bude duplo veći od ukupnog broja ulaza i izlaza, dok Banker et al. (1989), Bowlin (1998) i Sinuany-Stern & Friedman (1998) navode da taj broj treba da bude minimum tri puta veći. Cook et al. (2014) zaključuju da ova pravila nisu imperativna i da nemaju nikakvu statističku osnovu već se nameću kao pogodna. Ukoliko odnos broja *DMU* i ukupnog broja ulaza i izlaza nije zadovoljavajući, veći broj jedinica odlučivanja može biti ocenjeno kao efikasno. S obzirom da je prilikom analize efikasnosti važno obuhvatiti što više relevantnih ulaznih i izlaznih veličina, donosioci odluka se u cilju konačnog rangiranja uglavnom oslanjaju na nadgradnje *DEA* analize. Više o ovom ali i drugim nedostacima *DEA* metode biće prikazano u poglavlju 2.3.2.

Od trenutka prvog predstavljanja, *DEA* je mnogo puta transformisana i proširivana u zavisnosti od cilja kom je služila. Najosnovnije podele su u odnosu na formiranje granice efikasnosti, na pristup ocene efikasnosti kao i u odnosu na tretiranje (način orijentacije) ulaznih i izlaznih podataka prilikom ocene efikasnosti. U nastavku su prikazane najosnovnije podele *DEA* analize.

- I. Dva osnovna *DEA* modela koji se razlikuju u odnosu na način formiranja granice efikasnosti su:
- *model sa konstantnim prinosom na obim (Constant Return to Scale, CRS)* koji podrazumeva da povećanje ulaza utiče na povećanje izlaza i
 - *model sa promenljivim prinosom na obim (Variable Return to Scale, VRS)* koji podrazumeva da jedinica odlučivanja može da ima smanjenje, povećanje ili pak konstantni povraćaj na skalu tehničke efikasnosti.
- II. U odnosu na pristup oceni efikasnosti razlikuju se:
- *radijalni model (radial)* koji koristi radijalno merenje za ocenu efikasnosti. Ovaj tradicionalni pristup u *DEA* podrazumeva da se svi ulazi i izlazi optimizuju i menjanju na isti način, i to proporcionalno.
 - *neradijalni model (non-radial)* određuje istu granicu kao i radijalni s razlikom da referentne vrednosti ulaza i izlaza mogu biti različite (jer ne dopušta da efikasne *DMU* imaju slakove).
- III. U odnosu na orijentisanost razlikuju se:
- *ulazno-orijentisani model (input-oriented)* koji kao efikasnu *DMU* definiše onu čija se bilo koja ulazna veličina ne može smanjiti bez smanjenja bilo koje izlazne veličine i bez povećanja bilo koje druge ulazne veličine. Ulazno-orijentisani *DEA* modeli minimizuju ulazne veličine pri čemu zadržavaju vrednost izlaznih veličina, odnosno određuje koliko neka ulazna veličina može da se smanji kako bi se zadržala data vrednost izlazne veličine.
 - *izlazno-orijentisani model (output-oriented)* koji kao efikasnu *DMU* definiše onu čija se bilo koja izlazna veličina ne može povećati bez povećanja bilo koje ulazne veličine i bez smanjenja bilo koje druge izlazne veličine. Izlazno-orijentisani *DEA* modeli maksimiziraju izlazne veličine pri čemu zadržavaju vrednost ulaznih veličina, odnosno određuje koliko neka izlazna veličina može da se poveća kako bi se zadržala data vrednost ulazne veličine. Orijetisanost *DEA* modela ne utiče na vrednost efikasnosti, tj. efikasna *DMU* po ulazno-orijentisanom modelu biće efikasna i po izlazno-orijentisanom.
- Ishizaka & Nemery (2013) navode da orijentaciju modela treba birati prema tome nad kojim promenljivima (ulaznim ili izlaznim) donosilac odluke ima najviše kontrole. Na primer, eksperti u bezbednosti saobraćaja veću kontrolu mogu imati o broju lica koji vezuju sigurnosni pojas (ulazna veličina) nego o broju poginulih u saobraćaju (izlazna veličina) pa je u tom slučaju, za proračunavanje efikasnosti, ulazno-orijentisani *DEA* model prikladniji.

Charnes, Cooper & Rhodes (1978) i Cooper (2011) su u opisu *DEA* metodologije (tzv. *CCR DEA*) krenuli od pretpostavke da ima m ulaznih i s izlaznih veličina (ulazi i izlazi) koje se koriste za ocenu efikasnosti n jedinica odlučivanja, kao i od pretpostavke da svaka *DMU* ima najmanje jednu pozitivnu vrednost ulaza i izlaza. Matematička formulacija osnovnog modela (za jednu *DMU*) data je sledećom jednačinom:

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1)$$

Gde y_{rj} i x_{ij} predstavljaju izlazne i ulazne veličine j -te *DMU*, a u_r i $v_i \geq 0$ su promenljivi težinski koeficijenti koji su definisani rešenjem problema. Suma $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$ predstavlja „virtuelni izlaz“ a suma $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$ „virtuelni ulaz“. Kako jednačina (1) ne bi imala beskonačno mnogo rešenja postavlja se ograničenje da odnos virtuelnih ulaza i izlaza svake *DMU* ne može biti veći od 1:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$$

Model se pokreće u onoliko iteracija koliko ima jedinica odlučivanja i efikasnost jedne *DMU* se ocenjuje u odnosu na sve ostale, a sprovedena maksimizacija tog *DMU* dodeljuje najpovoljnije težinske koeficijente (tzv. optimalni ponderi u_r^* i v_i^*) koji su mogući pod datim ograničenjima. Drugim rečima, ukoliko se efikasnost vrednosti 1 ne postigne ovako dobijenim setom optimalnih težinskih koeficijenata, onda se neće postići ni iz jednog drugog seta. Kako bi sam proces računanja bio jednostavniji, gorenavedeni *DEA* model se može prikazati i u ekvivalentnoj linearnoj formi. U Tabeli 1 je data matematička formulacija osnovnog radijalnog modela sa konstantnim prinosom na obim za ulazno-orijentisanu i za izlazno-orijentisanu *DEA*.

Efikasnost dobijena na ovaj način (samoprocenom) se u literaturi još zove i jednostavna sopstvena efikasnost. Ovaj pristup je mnogo puta kritikovan jer fleksibilnost pri dodeli težinskih koeficijenata prilikom računanja sopstvene efikasnosti može dovesti do toga da se veći broj *DMU* oceni kao efikasan, a kao takve ih je nemoguće međusobno porediti i rangirati.

Tabela 1. CCR DEA modeli

DEA model	Ulazno-orijentisani (2)	Izlazno-orijentisani (3)
Funkcija efikasnosti	$max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$	$min f_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$
Ograničenja	$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$	$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$
	$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0,$	$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0,$
	$j = 1, \dots, n$	$j = 1, \dots, n$
	$u_r, v_i \geq 0;$	$u_r, v_i \geq 0;$
	$r = 1, \dots, s;$	$r = 1, \dots, s;$
	$i = 1, \dots, m.$	$i = 1, \dots, m.$

Da bi se ovaj problem rešio, Sexton et al. (1986) je predložio, a Doyle & Green (1994) su razvili pojam unakrsne efikasnosti. Unakrsna efikasnost (*Cross Efficiency, CE*) podrazumeva da se sa dobijenim optimalnim ponderima svake *DMU* mogu izračunati alternativne vrednosti efikasnosti svih ostalih *DMU*. Ukoliko u_r^* i v_i^* predstavljaju set optimalnih težinskih koeficijenata za *DMU_p* ($p = 1, \dots, n$) dobijenih optimizacijom prikazanom u (1), onda je *unakrsna efikasnost DMU_j* u odnosu na *DMU_p* data formulom (Doyle & Green, 1994):

$$h_{jp} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}} \quad (4)$$

Tako dobijene efikasnosti (u literaturi poznate kao *peer*, odnosno vršnjačke efikasnosti) čine matricu unakrsne efikasnosti (*Cross Efficiency Matrix, CEM*) veličine $n \times n$, a vrednost konačne unakrsne efikasnosti jedne *DMU* se dobija računanjem aritmetičke sredine (usrednjavanjem) svih odgovarajućih *peer* efikasnosti (Zhu, 2014):

$$\bar{h}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{ij} \quad (5)$$

Računanjem efikasnosti \bar{h}_j se eliminišu nerealistično dodeljeni ponderi ali, i u najvećem broju slučajeva, uspostavlja potpuni rang među jedinicama odlučivanja. Iako su Anderson et al. (2002) i Despotis (2002) dokazali da i *CE* može biti nepouzdana, do danas ova metoda je neodvojiva od *DEA*. U narednom poglavlju će biti date neke od prednosti koje pruža *DEA* ali će se posebna pažnja posvetiti njenim nedostacima i načinima za njihovo prevazilaženje.

2.3.2. Prednosti i nedostaci *DEA* analize

Jedinstvena karakteristika analize obavljanja podataka je da je njena korisnost i efikasnost dokazana u slučajevima višestrukih ulaznih i izlaznih veličina i njihovog nepoznatog međusobnog odnosa ali i onda kada nijedan drugi alat nije dao relevantne rezultate upravo zbog te složene strukture. Osnovna pretpostavka koja predstavlja suštinu *DEA* metode je da ako je

jedna *DMU* sposobna da postigne 100% efikasnost kroz tačan odnos izlaznih i ulaznih faktora koji su optimalno ponderisani, onda svaka druga *DMU* može da postigne isto ukoliko bi bila efikasna (Manzoni, 2007). Prednost *DEA* metode je što nije potrebno *a priori* znanje o značajnosti pojedinih faktora (iako je ponekad poželjno) kako bi proizvela relevantne i legitimne rezultate, naročito u slučajevima raznorodnih veličina. Glavne prednosti *DEA* predstavljene u Lovell et al. (1994) i Cooper et al. (2007a) su:

- ✓ akcenat je na pojedinačnim jedinicama odlučivanja,
- ✓ svaka jedinica odlučivanja ima jedinstvenu meru odnosa izlaznih i ulaznih veličina, odnosno svaka *DMU* za sebe određuje meru upotrebe ulaznih faktora za proizvodnju željenih rezultata,
- ✓ može istovremeno da koristi više ulaznih i više izlaznih veličina,
- ✓ nije potrebna prethodna normalizacija i standardizacija ulaznih i izlaznih veličina jer je omogućena implementacija promenljivih sa različitim merama,
- ✓ ulazne i izlazne veličine mogu biti kategorisane na hijerarhijskoj strukturi i tako implementirane u *DEA*,
- ✓ može da se prilagodi egzogenim promenljivim,
- ✓ može da implementira kategoričke promenljive,
- ✓ za proračun nije potrebno *a priori* znanje o značajnosti pojedinih faktora,
- ✓ može da proračuna meru promene koja je potrebna da bi neefikasna *DMU* postala efikasna odnosno može poslužiti kao alat za benčmarking,
- ✓ akcenat je na granici efikasnosti, a ne na njenim svojstvima centralne tendencije,
- ✓ zadovoljava striktna pravila pravičnosti pri proceni relativne efikasnosti svake *DMU*,
- ✓ pretpostavlja postojanje veze između ulaznih i izlaznih veličina ali se priroda te veze ne mora eksplicitno poznavati.

S obzirom da je analiza obavljanja podataka neparametarska metoda to znači da ne dozvoljava primenu metoda inferencijalne statistike, a kao tehnika koja se bazira na granici efikasnosti podložna je spoljnim uticajima kao što su greške merenja i izostanak relevantnih rezultata kada su u pitanju apsolutne vrednosti (Shen et al., 2012). Osim toga, konačna vrednost efikasnosti je relativna u odnosu na broj jedinica odlučivanja, odnosno ukoliko se promeni broj analiziranih *DMU* može se promeniti i ocena efikasnosti. Dalje, *DEA* podrazumeva da svaka *DMU* ima zasebnu funkciju linearnog programiranja što rezultira velikim brojem iteracija modela pa u slučaju velikog broja jedinica odlučivanja proračun može biti veoma komplikovan i zahtevan. S druge strane, ukoliko je mali broj *DMU* implementiranih u analizu, odnosno ukoliko je broj ulaznih i izlaznih veličina veći od broja *DMU*, više jedinica odlučivanja će biti ocenjeno kao efikasno (Cooper et al., 2007b), a što sprečava njihovo međusobno rangiranje. S obzirom da *DEA* vrši optimizaciju odnosa izlaznih i ulaznih veličina tražeći njenu maksimalnu vrednost, dodeljeni težinski koeficijenti mogu biti nerealistični. U cilju da ispuni svoj zadatak, *DEA* može potpuno zanemariti veličine koje negativno utiču na krajnju efikasnost dodeljujući im male vrednosti pondera. Isto tako, u slučaju efikasnih *DMU*, razmatra samo jedan set (od mogućeg većeg broja setova) optimalnih pondera. Jedna od glavnih prednosti *DEA* je što omogućava implementaciju raznorodnih veličina ali upravo ta osobina predstavlja izvor nesigurnosti konačne ocene koja može biti vezana za implementirane podatke (neprecizni i nepotpuni podaci, podaci prikupljeni anketama i upitnicima i predstavljeni lingvističkim varijablama, intervalni, redni, relacioni itd.) ili dobijene rezultate (efikasnost dobijena od nesigurnih i nepouzdatih podataka).

Na osnovu svega navedenog, glavni nedostaci *DEA* metode vezuju se za:

- ✓ dodeljene težinske koeficijente (nerealistični i nejedinstveni)
- ✓ nemogućnost potpunog rangiranja i
- ✓ nesigurnost (podataka i rezultata).

U nastavku su prikazani načini kojima se može rešiti jedan ili više nedostataka istovremeno.

I. Ograničavanje težinskih koeficijenata (*Weight restriction*)

Prilikom računanja efikasnosti, svaka *DMU* koristi maksimalnu fleksibilnost pri izboru optimalnih pondera i s ciljem da sebe oceni kao najbolju, zanemaruje veličine koje loše utiču na njenu ocenu. U mnogim slučajevima u obzir se uzimaju samo određene veličine, odnosno ponderi se dodeljuju samo nekolicini ulaznih i izlaznih veličina a ostale se zanemaruju (dodeljuju im se nulte vrednosti). Da bi se identifikovale stvarno efikasne *DMU* od onih čija efikasnost u velikoj meri zavisi od dodeljenih pondera, mogu se uvesti dodatna ograničenja vrednosti pondera. Metod ograničenja pondera se odnosi na subjektivnu procenu uticaja ulaznih i izlaznih veličina i unapred postavljanje dodatnih zahteva oslanjajući se na prethodno znanje ili preferentnost (jednog ili više) donosioca odluka. Ovako dodata ograničenja smanjuju fleksibilnost pri izboru optimalnih rešenja, poboljšavaju diskriminaciju *DEA* modela i omogućavaju bolje (ali ne nužno potpuno) međusobno rangiranje (Allen et al. 1997, Podinovski 2016).

Od nastanka *DEA* metode, tehnike kojima će se obraditi vrednosti pondera bile su tema mnogih istraživanja (Charnes et al., 1978; Allan, 1997; Premachandra, 2001; Tracy & Chen, 2005; Saati & Memariani, 2005; Thanassoulis et al., 2004; 2008; Makui et al., 2008; Mello et al., 2008; Cooper, 2009; Lam, 2010, Ramon et al., 2010; Sohraiee & Lotfi, 2010; Jahanshahloo et al., 2011; Omrani, 2013; Hatami-Marbini et al., 2015; Jain et al., 2015; Shen et al. 2015b; Podinovski, 2016; Hu et al., 2017; Song & Liu, 2018; Aparicio et al., 2020; Wang et al., 2020; Goker, 2021; Babaei, 2021; i mnogi drugi) što je rezultiralo velikim brojem metoda koje se najčešće mogu podeliti u četiri grupe i to: potpuno ograničavanje težinskih koeficijenata (*absolute weight restrictions*), relativno ograničavanje (*relative weight restrictions*), redno ograničavanje (*ordinal weight restrictions*) i ograničavanje virtuelnih vrednosti (*virtual weight restrictions*).

II. Dodatni cilj (*Secondary goal*)

U *DEA* analizi, kada broj ulaznih i izlaznih veličina nije u odgovarajućem odnosu sa brojem *DMU*, može doći do većeg broja efikasnih jedinica odlučivanja. U tom slučaju njihovo potpuno rangiranje nije moguće. Kao što je već ranije pomenuto, za uspostavljanje konačnog ranga uveden je metod usrednjavanja svih unakrsnih efikasnosti (efikasnosti dobijene na osnovu optimalnih setova težinskih koeficijenata svih *DMU*). Međutim, tako dobijena vrednost je upitna s obzirom da efikasne *DMU* mogu imati veći broj optimalnih setova, a odabir nekog drugog od njih uzrokuje i promenu agregatne vrednosti unakrsne efikasnosti.

U cilju rešavanja problema nejedinstvenog seta optimalnih pondera a istovremeno i uspostavljanje potpunog ranga, Sexton et al. (1986) i Doyle & Green (1994) su uveli pojam dodatnog cilja. Pomenuti autori su pored maksimizacije određene *DMU* predložili implementaciju dodatne funkcije cilja koja će vršiti minimizaciju (agresivna metoda) ili maksimizaciju (benevolentna metoda) prosečnih efikasnosti svih ostalih *DMU*. Osim agresivne i benevolentne metode Wang & Chin (2010a) su, po sličnom principu, predložili neutralni metod. Wu (2009) je predložio revidirani benevolentni model u kome se umesto prosečnih vrednosti unakrsnih efikasnosti posmatra njihov *fuzzy* odnos, a Contreras (2012) je predložio princip prioritnog ranga. Lim (2012) je predložio model po kome je dodatni cilj minimizacija (ili maksimizacija) najboljih (ili najgorih) *peer* efikasnosti, a Wu et al. (2016) su predložili model koji dodatno analizira poželjne i nepoželjne vrednosti unakrsnih efikasnosti i na taj način računa optimalne težinske koeficijente. Zahedi-Seresht et al. (2017) su primenili Monte Karlo simulaciju kako bi od slučajno generisanih optimalnih pondera za svaki utvrdili verovatnoću efikasnih *DMU*. Ang et al. (2018) su uzeli u obzir sve moguće *DEA* težinske koeficijente i definisali metodologiju po kojoj nije potrebno izabrati između agresivnog ili benevolentnog metoda dok su Foroughi & Tavassoli (2019) koristili optimalne pondere dobijene prema više *DEA* modela kako bi rangirali efikasne *DMU*.

Problematika postavljanja dodatnih ciljeva i ultimativno rangiranje *DMU* predstavlja predmet mnogih istraživanja, a osim navedenih autora, ideju dodatnog cilja su u svojim

istraživanjima obrađivali i Appa et al. (2006), Cooper et al. (2007b), Wu et al. (2009a; 2010; 2012), Lam (2010), Jahanshahloo et al. (2011), Wang et al. (2012), Foroughi (2013), Oral et al. (2014), Podinovski (2016), Song et al. (2017), Pourhabib et al. (2018), Foroughi & Tavassoli (2019), itd. Problemi optimalnih težina i konačnog ranga jedinica odlučivanja obrađivani su i u sklopu ove doktorske disertacije (poglavlje 4.2.2.).

III. Nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti (*Cross-efficiency extensions*)

Ideja procene unakrsne efikasnosti je da se svaka jedinica odlučivanja oceni kao prosek ocena efikasnosti (unakrsnih efikasnosti) dobijenih sa ponderima svih *DMU*, umesto samo svojim. Za razliku od samoprocene, ovako dobijena efikasnost, koja uključuje i ostale *DMU* u svoju ocenu, može uspostaviti potpuno rangiranje među jedinicama odlučivanja ali i eliminisati nerealistične setove težinskih koeficijenata bez njihovog dodatnog ograničavanja. Međutim, usrednjavanjem efikasnosti dobija se ocena koja nije Pareto optimalna, a dolazi i do gubitka povezanosti krajnje ocene sa ponderima (Despotis, 2002) što utiče na nemogućnost donosioca odluka da na osnovu dodeljenih pondera odredi kritična polja koja bi trebalo unaprediti. Stoga su se mnogi autori bavili nadgradnjom matrice unakrsne efikasnosti a neki od njihovih radova su predstavljeni u nastavku.

Bao et al. (2008) su implementirali analizu unakrsne efikasnosti na osnovu slakova; Liang et al. (2008) su u svom radu primenili teoriju igre s ciljem da svaka *DMU* maksimizira svoju efikasnost pod uslovom da ne pogorša efikasnost ostalih *DMU*; Wu et al. (2009a) je umesto usrednjavanja vrednosti iz matrice unakrsne efikasnosti iste posmatrao kao intervalne vrednosti pomoću kojih je implementirajući *fuzzy* teoriju izračunao konačnu ocenu efikasnosti; Wang & Chin (2010b) su, oslanjajući se na rad Liang et al. (2008), predložili alternativne metode za procenu unakrsne efikasnosti koje nisu imali konkretan cilj ni oblast primene već njihov izbor zavisi isključivo od donosioca odluka, a tvrdeći da ove metode daju realističnije rezultate; Ramon et al. (2010) su umesto usrednjavanja predložili ponderisanu agregaciju na način što su manje pondere dodeljivali efikasnostima dobijenim od *DEA* seta težinskih koeficijenata koji u sebi sadrže nulte vrednosti; Wang & Wang (2013) su predložili nekoliko alternativnih metoda agregacije dok je Liu (2018) analizirao intervalne unakrsne efikasnosti i njihove varijanse. Neki autori su koristili *MCDM* metode za agregaciju unakrsnih efikasnosti kao npr. Wu et al. (2009b) i Wang & Chin (2011) koji su za računanje pondera koristili Šarplijevu vrednost (*Sharpley value*) i *OWA* operatore, respektivno i tako ponderisane efikasnosti agregirali u konačnu ocenu. Zatim, Wu et al. (2011a) i Lee (2019) su isti cilj postigli primenjujući Šenonovu entropiju (*Shannon entropy*), Behdani & Darehmiraki (2019) primenjujući Džini koeficijent (*Gini Coefficient*) i Bonferoni usrednjavanje (*Bonferroni mean*), An et al. (2018) analitički hijerarhijski proces (*AHP*), Banihashemi & Khalilzadeh (2020) tehniku za redosled prioriteta prema sličnosti sa idealnim rešenjem (*TOPSIS*) a Grdinić-Rakonjac et al. (2021a) sivu relacionu analizu (*GRA*).

Određeni *DEA* nedostaci bili su predmet analize i ovog disertacijskog istraživanja što je rezultiralo predlozima za njihovo rešavanje. Pre toga, prikazani su neki od dostupnih programskih paketa za primenu *DEA* sa osvrtom na onaj koji je korišćen u ovoj doktorskoj disertaciji.

2.3.3. *DEA* softverska podrška

Prilikom analize velikog broja *DMU*, ručno rešavanje *DEA* modela postaje dugotrajno i komplikovano. S obzirom na široku primenu u raznim oblastima, razvio se veliki broj komercijalnih i nekomercijalnih softverskih rešenja. Najčešće korišćen je *Solver* dodatak koji je u sklopu programa *Microsoft Excel*, a koji je korišćen i u ovom istraživanju. *Excel Solver* predstavlja alat za rešavanje problema optimizacije metodom linearnog programiranja, što podrazumeva i mogućnost primene pri rešavanju *DEA* modela. Detaljniji opis i načina rada *Excel Solvera* dat je u Prilogu A.

Osim *Excel solvera* u upotrebi su softverska rešenja koja su kreirana samo za *DEA* analizu. Nekomercijalne i demo (probne) verzije tih softvera omogućavaju ograničenu primenu *DEA* modela sa ograničenim brojem *DMU* dok komercijalne verzije pružaju mogućnost korišćenja velikog broja nadgradnji koje su nastale razvijanjem *DEA* tokom godina i koje se kontantno ažuriraju. Neki od popularnih *DEA* programskih paketa su:

- ✓ Frontier Analyst (<https://banxia.com/frontier/>),
- ✓ *DEA Solver Pro* (<http://www.saitech-inc.com/Products/Prod-DSP.asp>),
- ✓ *PIM-DEA* (<http://deazone.com/en/software>),
- ✓ *DEAFrontier* (<http://www.deafontier.net/deafree.html>),
- ✓ *MaxDEA* (<http://maxdea.com/MaxDEA.htm>),
- ✓ *EMS* (<http://www.holger-scheel.de/ems/>),
- ✓ *Cran* (<https://cran.r-project.org/web/packages/Benchmarking/>),
- ✓ *DEAOS* (<https://www.deaos.com/>),
- ✓ *pyDEA* (<https://araith.github.io/pyDEA/>), itd.

2.3.4. Primena *DEA* u oblasti bezbednosti saobraćaja

Hermans et al. (2008b) su među prvim autorima koji su stanje bezbednosti na teritoriji ocenili kompozitnim indeksom dobijenim primenom *DEA* metode. Pomenuti autori su u svom radu vršili ocenjivanje i poređenje 21 evropske zemlje i u skladu s rezultatima analize predložili preventivne mere za svaku od njih. Shen et al. (2011b) su izračunali bezbednosnu ocenu za 19 evropskih zemalja koristeći 13 indikatora kao ulazne veličine i četiri indikatora kao izlazne veličine. Kako bi se prevazišla nekonzistentnost rezultata i njihova zavisnost od izabranih pokazatelja, Shen et al. (2012) su predložili tri proširena *DEA* modela. Ocenu bezbednosti u zemaljama SAD koristeći *DEA* sa četiri ulazne (pokazatelje ekonomičnosti, eksploatacije, stanja i pasivne bezbednosti) i jednom izlaznom veličinom (broj poginulih) su u svom istraživanju izvršili Eglimez & McAvoy (2013). Shen et al. (2013a) su koristili *DEA* implementirajući pokazatelje koji su lako dostupni u svim zemljama (broj stanovnika, vozila, putničkih kilometara i broj poginulih u saobraćajnim nezgodama) kako bi analizirali promenu stanja bezbednosti izabranih teritorija tokom deset godina.

Procena primenjenih mera koje su se godišnje sprovodile u Izraelu bio je cilj studije koju su sproveli Behnood et al. (2014). Shen et al. (2015b) su koristili *DEA-RS* model sa tri ulazne (stanovništvo, putnički kilometri i putnička vozila) i dve izlazne veličine (poginuli i teško povređena lica) za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja deset izabranih zemalja Evropske unije. Bastos et al. (2015) su u svom radu koristili *DEA* da agregiraju tri izabrana saobraćajna rizika u jedan kompozitni indeks. Alper et al. (2015) su vršili ocenu bezbednosti 197 opština koristeći *DEA* analizu sa ulaznim (koje su se ticale finansiranja opština), izlaznim (saobraćajni rizik predstavljen odnosom broja saobraćajnih nezgoda i broja stanovnika) i međuizlaznim veličinama (pokazatelji koji utiču na smanjenje posledica saobraćajnih nezgoda kao na primer upotreba sigurnosnog pojasa). Pakkar (2016) je u svom radu usvojio listu indikatora iz Shen et al. (2013a) i predložio integraciju *DEA* sa *AHP* metodom u cilju kreiranja kompozitnog indeksa.

Prevazilaženje nekonzistentnosti rezultata bio je cilj istraživanja koje su sproveli Rosić et al. (2017). Testirali su četiri *DEA* modela sa različitim proširenjima kako bi izabrali optimalni metod za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom. Behnood (2018) je u svom radu vršio analizu stanja bezbednosti evropskih zemalja na svakom od pet prethodno definisanih stubova bezbednosti uvodeći virtuelni „najbolji“ pokazatelj za svaku zemlju posebno i sa njim poredio njen stvarni rezultat. Nikolaou & Dimitriou (2018) su koristili *DEA* da analiziraju stanje bezbednosti evropskih zemalja u periodu od deset godina i na osnovu rezultata predložili kratkoročne i dugoročne mere. Shah et al. (2018) je primenio *DEA* za rangiranje azijskih zemalja u odnosu na njihovu procenjenu bezbednost saobraćaja, a u sledećem radu i za procenu bezbednosti puteva (Shah et al. 2019).

Ganji & Rassafi (2019a; 2019b) su koristeći šest ulaznih veličina (koje se tiču policijskih stanica, održavanja puteva, službe hitne pomoći, vozila, kamera na putevima i sistema osvetljenja puta) i jednu izlaznu (broj poginulih u odnosu na srednje vreme provedeno u saobraćaju) vršili procenu bezbednosti iranskih puteva predlažući nove *DEA* modele. Amini et al. (2019) su za analizu bezbednosti zemalja u Iranu takođe predstavili novi *DEA* model dok su Behnood et al. (2020) prethodno obrađene pokazatelje bezbednosti implementirali u *DEA* kako bi analizirali i uporedili dobijene rezultate izabranih zemalja. Fancello et al. (2020) su primenili četiri osnovna *DEA* modela kako bi identifikovali puteve gde je potreba za povećanjem nivoa bezbednosti najizraženija, a Antić et al. (2020), Kang & Wu, (2020), Chang et al. (2020), Omrani et al. (2020a) i Folla et al. (2021) su koristili *DEA* kako bi poredili bezbednost na mikro nivou (opštinama, provincijama, gradovima). Mitrović-Simić et al. (2020) su izvršili integraciju *DEA* sa izabranim *MCDM* metodama kako bi procenili bezbednost putnih segmenata, a Shen et al. (2020), Babaee et al. (2021) su koristili višeslojnu *DEA* za konstrukciju kompozitnog indeksa ponašanja u evropskim zemljama. Određeni broj radova iz oblasti primene *DEA* u oceni stanja bezbednosti i kreiranju kompozitnog indeksa objavljen je na osnovu istraživanja koja su sprovedena za potrebe i ove doktorske disertacije: (Grdinić et al., 2017; 2019; Grdinić-Rakonjac et al., 2020; 2021a; 2021b; Pajković & Grdinić-Rakonjac, 2021; Antić et al., 2020; 2022; itd.)

Nakon sprovođenja metodološki uspostavljenih koraka iz procedure za kreiranje kompozitnog indeksa, kao rezultat se dobija ocena stanja bezbednosti saobraćaja koja sadrži informacije o svim indikatorima izabranim za njeno konstruisanje. Na osnovu takve ocene stanja može se izvršiti rangiranje i grupisanje teritorija, kao i utvrđivanje najboljih praksi.

2.4. Benčmarking u bezbednosti saobraćaja

Benčmarking bezbednosti saobraćaja predstavlja proces u kom entiteti (države, regioni, opštine, lokalne samouprave) kontinuirano mere i međusobno upoređuju aspekte svog učinka (Wegman et al., 2008). Osnovna ideja koja stoji iza benčmarkinga je da pruža priliku da se uči od „najboljih u klasi“ (Aarts & Houwing, 2015). Mnoge zemlje prepoznaju važnost međunarodnog benčmarkinga. Na taj način omogućeno im je da uče od uzora, odnosno da se usavršavaju na osnovu postojećih praksi u drugim zemljama. Benčmarkingom se mogu identifikovati i pozitivne i negativne oblasti bezbednosti saobraćaja neke teritorije u odnosu na sve ostale. Ovo može povećati javnu svest o problemu ali i stručnjacima iz bezbednosti saobraćaja koji kreiraju mere i politike može pomoći u preduzimanju odgovarajućih mere za rešavanje problema u ciljanoj zemlji. Danas postoji veliki broj modela za poređenje teritorija koji su se razvili u sklopu četiri generacije.

Glavna prepreka u konstruisanju bilo kog modela benčmarkinga je nedostatak podataka iz različitih zemalja, posebno zemalja u razvoju. Kako navode Al Haji & Asp (2006) za svako značajno i relevantno poređenje potrebno je imati pouzdane, validne i dostupne podatke. Iako se prvobitni modeli za poređenje teritorija i dalje koriste, poslednja faza razvoja uzima u obzir neophodnost sistematskog udruživanja svih potencijalnih pokazatelja čoveka, vozila, puta, životne sredine itd. u jedan kompozitni indeks. Tako se dobija sveobuhvatnija slika koja nije usredsređena samo na jedan aspekt bezbednosti saobraćaja. Korišćenjem kompozitnog indeksa za poređenje teritorija može se s jedne strane pratiti stanje u zemljama i utvrditi uspešne i neuspešne primenjene strategije, dok se s druge strane može utvrditi nivo napretka velikog broja teritorija.

Osim među različitim zemljama, poređenje bezbednosti se vrši i na nacionalnom nivou s obzirom da je dokazano da su velike razlike u broju poginulih na različitim teritorijama povezane sa razlikama na lokalnom nivou (Eksler, 2009). Wegman et al. (2008) navode da je najbolje da se sve teritorije, bilo na mikro ili makro nivou, prethodno grupišu i među grupama izdvoji jedna koja će biti uzor ostalima iz grupe, a što predstavlja suštinu benčmarkinga.

3. NESIGURNI – SIVI PODACI U BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Dobijanje numeričkih i merljivih podataka o indikatorima predstavlja preduslov za pouzdanu ocenu bezbednosti saobraćaja na nekoj teritoriji. S obzirom da je većina indikatora kvantitativnog karaktera i da je njihova implementacija u metodologiju za izračunavanje kompozitnog indeksa relativno laka, često se zanemaruje pitanje o preciznosti i pouzdanosti tih podataka. Lloyd & Forster (2014) su u svom radu istakli da izloženost riziku u saobraćaju (koji je najčešće korišćena vrsta indikatora za kreiranje kompozitnog indeksa), a naročito izloženost riziku od nastanka nezgode (broj nezgoda u odnosu na broj putničkih kilometara), predstavlja izuzetno nesiguran i neprecizan podatak. Osim toga, prikupljeni podaci mogu biti rezultat greške u merenju ili rezultat korišćenja proksi podataka pa se postavlja pitanje o pouzdanosti kompozitnog indeksa dobijenog od te vrste podataka. Dalje, *SPI* kao što je broj vozača koji upravljaju vozilom pod uticajem alkohola ne može biti tačan pokazatelj jer ne postoji mogućnost da taj podatak bude u potpunosti precizan, odnosno da pokazuje tačan broj svih vozača pod uticajem alkohola na putevima. Analogno tome, podaci o broju saobraćajnih prekršaja (koje nemali broj autora koristi kao *SPI*, a usled nedostatka drugih, relevantnijih podataka) su takođe uzrok nesigurnosti konačne ocene s obzirom da ne mogu precizno da opišu ponašanje učesnika u saobraćaju samim tim što je nemoguće da svi učesnici koji čine prekršaje budu evidentirani. Stoga, ova vrsta podataka može da prikaže samo približnu situaciju na putevima ali ne i tačno stanje.

Podaci o ponašanju i percepciji učesnika u saobraćaju se često prikupljaju anketiranjem i predstavljaju subjektivno mišljenje o sopstvenom ponašanju izraženo lingvističkim promenljivima. Takvi numerički podaci koji opisuju kvalitativni fenomen su već po svojoj prirodi neprecizni, nesigurni, nejasni i ponekad dvosmisleni (Deng et al., 2011, Zhu & Hipel, 2012). Osim učesnika u saobraćaju, donosioci odluka su često uključeni kako bi izrazili svoje mišljenje i sklonost u odnosu na određene domene bezbednosti saobraćaja pa je tačnost i preciznost ovih subjektivnih mera malo verovatna.

Proizvoljnim i nepažljivim beleženjem mišljenja i stavova, ali i nerazumevanjem upitnika (ili nekog njegovog dela) ispitanici mogu prouzrokovati nepouzdanost i nesigurnost prikupljenih podataka (Cheng & Li, 2001). Osim navedenog, korišćenje *MCDM* metoda za kreiranje kompozitnog indeksa i neka njihova ograničenja mogu biti izvor nesigurnosti i pouzdanosti dobijenih rezultata. Na primer, konačni rezultat može zavisiti od izbora tehnike za transformaciju podataka (Liao & Wu, 2019), od izbora *MCDM* metode koja može biti neodgovarajuća (Cheng & Li, 2001), od izbora metode za ponderisanje (Saborido, 2018), itd.

3.1. Modeliranje nesigurnih podataka

Obrada podataka dobijenih anketiranjem može biti raznorodna, a moguće je koristiti kako parametarske tako i neparametarske metode (Carifio & Perla, 2008). Pored mnogih geometrijskih ili konstruisanih skala (npr. *Salo-Hamalainen* skala) koje se koriste za poređenje para stavova, najmanja greška se javlja korišćenjem *Saaty* skale (Finan & Hurley, 1999; Yucheng

et al., 2008). *Saaty skala* predstavlja nezaobilazan korak u metodi za višekriterijumsko odlučivanje pod nazivom Analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process, AHP*). Najčešće korišćena skala koja se u raznim oblastima koristi u anketama prilikom prikupljanja podataka o percepciji, stavovima, ocenama ili ponašanju je Likert-skala (Russell & Hollander, 1975; Papadimitriou & Yannis, 2013; Lovelace & Brickamn, 2013; Dinh 2020).

Korišćenjem Likert-skale (*Likert scale*) svaki lingvistički odgovor je kodiran ocenom, najčešće od 1 do 5 (od najmanjeg „u potpunosti se ne slažem“ ili „nikad“ do najvećeg „u potpunosti se slažem“ ili „uvijek“). Tumačenje ovako dobijenih rezultata (ocena) nije u dovoljnoj meri pouzdano jer, u zavisnosti od njihovog daljeg korišćenja (dalja implementacija u neku metodologiju), može dovesti do nerealnih i nejasnih zaključaka. Na primer, ako se odgovor „veoma dobro“ dobijen Likert-skalom kodira ocenom 5, „dobro“ ocenom 4, itd. time je vrednost odgovora „veoma dobro“ 1,25 puta veća od vrednosti ocene za „dobro“, a čak 5 puta veća od vrednosti za „veoma loše“. Takva međusobna raspodela važnosti i nepreciznost odabira jedne vrednosti nije odgovarajuća za implementaciju kod određenih metoda (naročito *MCDM* metoda). Dalje, nije potpuno jasno da li su podaci prikupljeni Likert-skalom intervalni ili redni, a u istraživanjima su zastupljene analize u oba slučaja (Cohen et al., 1999; Hodge & Gillespie, 2003; Jamieson, 2004). U literaturi se mogu naći pokušaji nadgradnje Likert-skale na način da se implementiraju dodatna pitanja, međutim to se pokazalo kao neprimenljivo (Vonglao, 2017).

Kao još jedan bitan nedostatak navodi se to da se za prikaz rezultata Likert-skale koriste agregatna ocena ili srednja vrednost (ili modus, medijana) kodiranih stavova, a sama analiza rezultata se vrši statističkim metodama. Iako ovakva obrada podataka pojednostavljuje analizu, primena statističkih alata je u većini slučajeva ograničena (Jamieson, 2004; Carifio & Perla, 2007) a s obzirom da različiti ispitanici mogu različito percipirati tranziciju između rangova, neke informacije se mogu i izgubiti. Zbog svega navedenog, teži se pronalasku odgovarajuće metodologije za kodiranje ovako prikupljenih podataka.

Lingvistički izrazi koji su prikupljeni korišćenjem Likert-skale ne mogu se u potpunosti precizno kodirati i izraziti jednostavnim numeričkim podacima (Zhu & Hipel, 2012), pa je prilikom prikupljanja podataka o (samoprijavljenom) ponašanju i percepciji glavni fokus na njihovoj obradi i konačnom predstavljanju. Već je dokazano da su svi, na ovaj način dobijeni podaci, neprecizni i nejasni (Dyson & Shale, 2010; Vonglao 2017) pa u cilju da se oni dalje implementiraju u metodologiju za konstruisanje kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja, neophodno je prevazići njihovu nesigurnost. Metode za prevazilaženje nepreciznosti zavise od načina prikupljanja podataka ali i od subjektivne procene eksperata.

U literaturi se može naći veliki broj autora koji su se u svojim radovima bavili osobenošću i karakteristikama nejasnih i nepreciznih podataka ali i načinima za prevazilaženje njihove nesigurnosti. Tsang et al. (2011) su u svom radu koristili stabla odlučivanja (*Decision Trees, DT*) kako bi otklonili nesigurnost nastalu usled nedostatka podataka dok su Leung et al. (2007) i Mirzapour et al. (2011) koristili robustnu optimizaciju (*Robust optimization, RO*) kako bi umanjili negativni uticaj korišćenja nesigurnih podataka. U poslednje vreme, kao najčešće metode za istraživanje nesigurnosti, izdvojile su se entropija, teorija nejasnih skupova, teorija sivih sistema i teorija grubih skupova.

- *Entropija (Entropy, Shannon et al., 1948)* je koristan alat za rešavanje nesigurnosti subjektivnih i složenih podataka (Gnedenko, 2018; Mostofian & Zuckerman, 2019) na način što meri poznate vrednosti kako bi izračunala one koje nedostaju (Lesne, 2014; Salahdine et al. 2017). Entropija se u literaturi uglavnom koristi za izračunavanje pondera u *MCDM* metodama (Li et al., 2011; Lee et al., 2012; Chen et al., 2015; 2016; Yue, 2017; Rosić et al., 2017; Castro-Nuño et al., 2018; Zong et al., 2019). Mnogi autori navode da je koncept entropije neraskidivo povezan za konceptom neizvesnosti, nesigurnosti, haosa, nereda i složenosti (Zong et al., 2019).

- *Teorija grubih skupova (Rough set theory, Pawlak, 1982)* se bavi objektivnim podacima koji nisu u potpunosti poznati. Ova teorija za opisivanje neodređenih skupova koristi *grube brojeve* koji nepreciznost podataka tretiraju određivanjem *grubog regiona*, odnosno njegovih graničnih vrednosti. Granice se određuju aproksimacijom (donja i gornja) postojećih podataka čime je subjektivnost izbegnuta. Veličina graničnog regiona oslikava nivo *grubosti* podataka, tj. veći region označava nesigurnije podatke dok manji region označava veću preciznost.
- *Teorija nejasnih skupova (Fuzzy set theory, Zadeh, 1965)* je široko korišćena metoda koja se bavi obradom nepreciznih i nejasnih podataka. *Fuzzy* teorija se oslanja na mogućnost a zanemaruje verovatnoću podataka koji imaju jasnu intenciju ali nejasne granice (Teodorović & Vukadinović, 1998; Liu et al., 2012;). U osnovi *fuzzy* tehnike jeste kodiranje numeričkih, *crisp* vrijednosti u *fuzzy*, nejasne brojeve. *Nejasni brojevi (Fuzzy numbers)* kao deo *fuzzy* teorije, tretiraju nesigurnost podataka pomoću funkcije pripadnosti koja zavisi od subjektivnog mišljenja donosioca odluka i njegovog znanja i intuicije (Nikolić et al., 2020). *Fuzzy* brojevi su prepoznati kao efikasan alat u psihometrijskim studijama kada je potrebno tretirati nepreciznost i subjektivnost podataka opisanih lingvističkim promenljivima (Lin, 2014; Hariri et al., 2019). Postoji dva načina implementacije *fuzzy* (najčešće trouglastih i trapezastih) brojeva u tu svrhu i to:
 - prvi način se odnosi na uvođenje alternativnih skala. Lalla et al. (2004), Li (2013), Guajardo et al. (2015), Vonglao (2017) i dr. su implementirali pravila *fuzzy* teorije kako bi unapredili Likert-skalu dobijajući na taj način novu poboljšanu verziju tzv. *fuzzy-Likert* skalu. Upoređujući efikasnosti, pomenuti autori su došli do zaključka da je merenje subjektivnih promenljivih tačnije *fuzzy-Likert* skalom od merenja klasičnom Likert-skalom jer se korišćenjem *fuzzy* skale može posmatrati i (skriveni) deo između tačaka na Likert-skali (Vonglao, 2017).
 - drugi način koji je zastupljeniji u literaturi je da se već prikupljeni odgovori kodiraju primenom *fuzzy* brojeva, tj. da se svakom odgovoru sa Likert-skale dodeli *fuzzy* broj (sa unapred zadatom funkcijom pripadnosti). Ovaj metod, koji omogućava uvid u dvosmislenost kojom se odlikuje ljudska procena (De la Rosa, 2015) je poznat pod nazivom *fuzzy lingvistički pristup (Fuzzy linguistic approach)*. Ovaj pristup predstavlja sastavni deo mnogih istraživanja u raznim oblastima, a najčešće je korišćen za ponderisanje prilikom korišćenja metoda za višekriterijumsko odlučivanje kada su u tu svrhu angažovani eksperti i donosioci odluka (Bao et al., 2012; Mousavi et al., 2013; Tseng et al., 2013; Vats et al., 2014; Awasthi & Kannan, 2016; Tian et al., 2017; Amini & Nikraz, 2017; Behnood, 2018; Stanković et al., 2020; Rostamzadeh, 2020; itd.).
- *Teorija sivih sistema (Grey system theory, Deng, 1982)* se bavi problemima nesigurnosti malih uzoraka i nepotpunim podacima koji su samo delimično poznati a kojima se teško može rukovati (Liu et al., 2012). *Grey* teorija pruža mogućnost analiziranja neizvesnosti ljudske percepcije i to na način što, kao i *fuzzy*, stvara mehanizam sličnog zaključivanja (Zadeh, 2002; Zadeh, 2005). Međutim, za razliku od *fuzzy*, *grey* se bavi podacima koji imaju jasne granice ali nejasnu intenciju (Liu et al., 2012). Yang et al. (2019) kao najznačajniju prednost teorije sivih sistema u odnosu na *fuzzy* teoriju, iako se u većini slučajeva preklapaju, navodi to što sivi skup kombinuje objektivnu nesigurnost sa subjektivnom neizvesnošću. Pojavom teorije sivih sistema i njenom sve većom zastupljenošću u literaturi u oblasti prevazilaženja nesigurnosti, izraz *sivi (grey)* podaci se počeo upotrebljavati sve češće. Nepotpunost informacija predstavlja osnovno značenje pojma *sivi* čija tzv. nijansa se može promeniti od *crne*, koja predstavlja potpuno nepoznate informacije do *bele* koja predstavlja potpuno poznate informacije. Odnosno, kada se implementira više informacija *sivi set* može postati *beli*. Na Slici 3 je prikazan koncept sivih podataka koji je u svom radu

predstavio (Liu et al., 2012). Najčešće korišćeni delovi teorije sivih sistema su sivi brojevi (*Grey numbers*) i siva relacionala analiza (*Grey relational analysis, GRA*):

- *Sivi broj* je takav da je njegova tačna vrednost nepoznata ali je poznat interval u kom se nalazi. Na sličan način kao i *fuzzy* brojevi, sivi brojevi se mogu koristiti prilikom kodiranja lingvističkih varijabli prikupljenih primenom psihometrijskih upitnika. *Grey lingvistički pristup (Grey linguistic approach)* se uglavnom koristi kako bi se različita mišljenja donosioca odluka implementirala u određenu *MCDM* metodologiju. Kao i prilikom korišćenja *fuzzy*, u mnogim istraživanjima za modeliranje nesigurnosti i nejasnoća kojom se odlikuju stavovi i mišljenja donosioca odluka, autori koriste *grey lingvističke skale* (Li et al., 2007; Kuang et al., 2014; Mehrjerdi, 2014; Badi et al., 2019; Mahmoudi et al., 2020; Wei et al., 2020).
- *Siva relacionala analiza (GRA)*, kao deo teorije sivih sistema, se bavi neizvesnim i nesigurnim sistemima čiji je osnovni koncept određivanje stepena sličnosti podataka u odnosu na unapred određeni referentni set. Referentni set predstavlja virtuelni set sastavljen od idealnih vrednosti podataka a predviđanje novih vrednosti na osnovu već poznatih nesigurnih vrednosti, može se protumačiti i kao prilagođavanje krive. *GRA* je multidisciplinarna *MCDM* metoda koja se u literaturi koristi ili samostalno ili kao nadgradnja drugim metodama a kada se rukuje nesigurnim podacima.

	CRNI	SIVI	BELI
Informacija	Nepoznata	Nepotpuna	Poznata
Pojava	Crna	Zamućena	Jasna
Postupak	Nov	Promenljiv	Star
Svojstvo	Haotično	Multivarijantno	Sredeno
Metod	Negacija	Promena na bolje	Potvrda
Stav	Slobodan	Tolerantan	Rigorozan
Rezultat	Bez rešenja	Višestruka rešenja	Jedinstveno rešenje

Slika 3. Koncept „sivi podaci“ (Liu et al. 2012)

3.2. DEA i nesigurni podaci

Jedno od ograničenja *DEA* je njena deterministička priroda i osetljivost na vrednosti podataka. *DEA* podrazumeva da su svi (ulazni i izlazni) podaci tačni i precizni, što je retko slučaj u praksi. Podaci su uglavnom složeni i promenljivi i veoma ih je teško tačno izmeriti pa se istraživanja nekad moraju vršiti podacima koji su nepotpuni, nejasni i nesigurni (Saati et al., 2013; Emrouznejad et al., 2014; 2016; Wen, 2015; Ehr Gott et al., 2018). Klasična *DEA* ne uzima u obzir nesigurnost i nepreciznost podataka već se samo oslanja na procenu pozicije tačaka u odnosu na granicu efikasnosti iz koje se ne mogu izvesti statistički zaključci (Bastos et al., 2015) i koja je podložna promenama ulaznih informacija (Walden, 2006). O'Neal et al. (2002) su u sklopu svog istraživanja predložili da se takvi podaci prosto izostave iz analize, međutim s obzirom da *DEA* ocenu efikasnosti određuje upoređujući jednu *DMU* sa ostalima, ovaj način nije pogodan. Cooper et al. (1999) su u svom radu analizirali primenu tehnika imputacije kojima bi tačnu vrednost nejasnih i nesigurnih podataka dobili aproksimativnim metodama. Kako *DEA* sama dodeljuje pondere da bi neku jedinicu ocenila efikasnom, mala promena vrednosti ulaznih podataka može dovesti do toga da efikasna *DMU* postane neefikasna (i obrnuto) pa je i taj način odbačen. Često se dešava da je u *DEA* analizu potrebno uključiti i kvalitativne podatke izražene jezičkim promenljivim. Jednostavno prevođenje takvih podataka u numeričke celobrojne vrednosti (*crisp*), a zatim sprovođenje *DEA* analize implementirajući te podatke je veoma upitno (Emrouznejad, 2014) pa su se mnogi autori bavili ovim problemom.

Cook et al. (1993; 1996) su za prikazivanje različitog nivoa kvalitativnih podataka koristili binarne promenljive i matematičke formule. Zatim je za primenu *DEA* sa kvalitativnim i kvantitativnim podacima predložen proračun granica efikasnosti (Cooper et al. 1999; 2001) a sam metod nazvan neprecizna *DEA* (*Imprecise DEA, IDEA*). Ovaj metod je takođe dobio svoje nadgradnje u smislu potencijalnih načina za računanje gornje (Zhu, 2004; Dyson & Shale, 2010; Park, 2010) ali i donje granice (Despotis & Smirlis, 2002; Kao, 2006; Park 2007), da bi Cook & Zhu (2006) razvili opšti okvir po kom se obrađuju kvalitativni podaci.

Najefikasniji način, i u literaturi najzastupljeniji, je da se neka od teorija koje se bave nesigurnošću i nepreciznošću podataka implementira u *DEA*. U tom smislu, *DEA* je najčešće agregirana sa teorijom nejasnih skupova i od prvobitne studije (Sengupta, 1992a; 1992b), mnogo puta je razvijana i nadograđivana na različite načine. Jedan od načina koje je važno pomenuti zasniva se na prethodnoj defazifikaciji vrednosti ulaznih i izlaznih promenljivih da bi se potom primenio konvencionalni *DEA* model (Lertworasirikul, 2001). Meada et al. (1998) je predložio implementaciju α -preseka kojim se dobijala intervalna ocena efikasnosti dok su Kao & Liu (2000) predstavili model koji računa funkciju pripadnosti *fuzzy* efikasnosti u slučaju da su neke od ulaznih i izlaznih veličina *fuzzy* brojevi. Više o mnogobrojnim i raznovrsnim *fuzzy-DEA* modelima koji se mogu naći u literaturi predstavio je Emrouznejad et al. (2014).

Osim *fuzzy* teorije, često korišćene su i stohastička teorija, teorija grubih skupova i teorija sivih sistema, a implementacijom bilo koje od pomenutih dobijaju se hibridni *DEA* modeli (stohastična *DEA*, *fuzzy DEA*, nesigurna *DEA*, neprecizna *DEA*, gruba *DEA*, itd.) koji se, u odnosu na način i mesto rešavanja nesigurnosti, mogu klasifikovati u tri grupe i to:

- a) obrada podataka pre implementacije u *DEA*,
- b) modeliranje funkcije cilja i ograničenja u *DEA* i
- c) nadgradnja *DEA* matrice unakrsne efikasnosti.

Tretiranje nejasnih i nesigurnih podataka se često vrši korišćenjem već pomenutih *fuzzy* ili *grey* lingvističkih skala, primenom *grubih* brojeva i sl. Redni, intervalni i drugi podaci se pomoću pomenutih skala oblikuju u pouzdaniju *crisp* vrednost pogodnu za implementaciju u *DEA* analizu. Osim toga, na ovaj način se mogu računati i dodatni ponderi onda kada postoji težnja da se u konačnu ocenu implementira subjektivno mišljenje (najčešće donosioca odluka). Takođe, moguće je sive, *fuzzy* i *grube* brojeve, bez prethodne transformacije u *crisp* vrednost, implementirati u *DEA* analizu. U tom slučaju takav proračun postaje veoma zahtevan i komplikovan s obzirom da se nelinearni oblik funkcije cilja teško (nekad čak i nemoguće) transformiše u linearni. Zhu (2003; 2004) je u svojim radovima prikazao način da se nelinearna *DEA* reši u standardnom linearnom obliku i to identifikovanjem skupa tačnih podataka (direktno u *DEA*) iz nepreciznih ulaznih i izlaznih podataka.

Oblikovanje funkcije cilja se postiže ili dodavanjem dodatnog cilja ili proširivanjem postojećeg u skladu sa pravilima izabrane teorije koja se bavi nesigurnošću. Može se izvršiti i promena ili implementiranje dodatnih ograničenja za promenljive.

Tretiranju matrice unakrsne efikasnosti (*CEM*) nekom od teorija koje se bave nesigurnošću se uglavnom pribegava kada se podaci korišćenji za dobijanje konačne ocene ne smatraju jasnim i preciznim. Stoga, jedan od jednostavnijih načina dobijanja pouzdanih ocena od ovakvih podataka je i nadgradnja *CEM* matrice. Pokazalo se da statistika centralizacije (srednja vrednost), metod koji autori često koriste, može biti nerealan (Anderson et al., 2002) a što je dalje rezultiralo mnogim različitim *CEM* proširenjima (Wang & Chin, 2011; Lee, 2019; Su & Lu, 2019; Behdani & Darehmiraki, 2019; Si & Ma, 2019; Antić et al., 2022; i mnogi drugi)

Kao što se iz svega navedenog može primetiti, razumevanjem slabosti i nedostataka *DEA* analize isti se mogu prevazići a primena *DEA* metode unaprediti. Integracijom sa drugim tehnikama može se rešiti najmanje jedan od njenih nedostataka. Neretko je slučaj da ispunjavanjem jednog cilja dolazi do prevazilaženja još nekog nedostatka: na primer nadgradnjom *CEM* matrice može se istovremeno rešiti pitanje nesigurnosti ali i pitanje konačnog ranga *DMU*.

4. RAZVOJ NOVOG INTEGRISANOG METODA ZA KREIRANJE KOMPOZITNOG INDEKSA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA – *i*DEA

Primarni cilj doktorske disertacije je definisanje metoda za kreiranje kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja na bazi nepreciznih i nesigurnih podataka i shodno tome osmišljavanje pogodnog alata za donošenje odluka. Koraci za razvoj novog metoda bazirani su na empirijskim istraživanjima i sveobuhvatnom pregledu literature koja je predstavljena u prethodnom poglavlju. Osim glavnog, definisani su sekundarni ciljevi koji teže razvoju metoda za oblikovanje ponašanja i percepcije vozača (odnosno podataka prikupljenih anketama i iskazanih lingvističkim promenljivim) i razvoju metoda za obradu rezultata dobijenih korišćenjem nesigurnih i nepreciznih podataka. Prateći sve korake u procesu kreiranja kompozitnog indeksa, u ovom poglavlju biće predstavljen novi metod koji se bazira na integraciji analize obavljanja podataka i relevantnih teorija koje se bave nesigurnošću podataka, a po čemu je i dobio naziv „*i*DEA“⁴. Ceo proces podeljen je u tri faze i to:

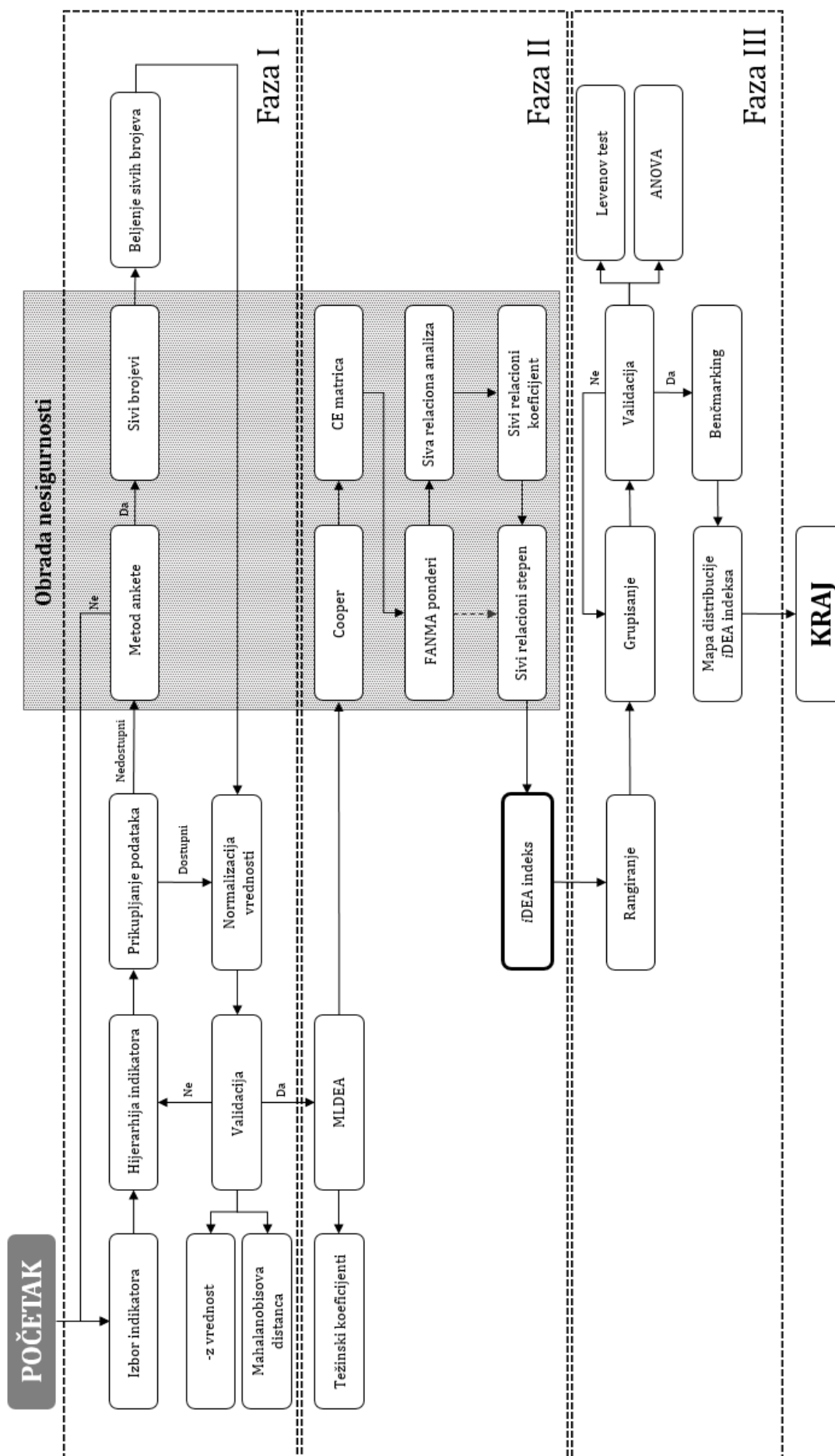
Faza I – podrazumeva sve radnje vezane za manipulisanje podacima: izbor indikatora, stratifikacija i uspostavljanje hijerarhijske strukture, prikupljanje podataka, oblikovanje i obrada nesigurnosti kvalitativnih vrednosti, normalizacija podataka i verifikacija konačnih vrednosti i definisane hijerarhijske strukture.

Faza II – obuhvata primenu *DEA* analize i predloženih nadgradnji za obradu nesigurnosti. Na samom početku se definišu ciljne funkcije za svaku teritoriju uzimajući u obzir hijerarhijsku strukturu podataka. Kreira se matrica unakrsnih efikasnosti i identifikuju efikasne teritorije (na dijagonali matrice). Zatim se za efikasne teritorije sprovodi postupak odabira jedinstvenih optimalnih rešenja, a matrica unakrsnih efikasnosti se ažurira u skladu sa dobijenim težinskim koeficijentima. Takva matrica predstavlja dalje osnovu za primenu konkretne analize kojom se sve vrednosti iz matrice za određenu teritoriju agregiraju u njenu konačnu ocenu – *i*DEA indeks bezbednosti saobraćaja.

Faza III – U poslednjoj, trećoj fazi, vrši se rangiranje teritorija na osnovu dobijenog indeksa bezbednosti, teritorije se grupišu po sličnosti i sprovodi se procedura benčmarkinga, odnosno identifikovanje teritorije koja će predstavljati primer dobre prakse i postati uzor u sprovođenju strategija i mera ostalim teritorijama iz grupe. Nakon provere i potvrđivanja pravilnog grupisanja teritorija, pristupa se vizuelizaciji stanja bezbednosti, odnosno kreira se mapa distribucije *i*DEA indeksa. U sklopu ove faze vrši se i predlog polja bezbednosti koje je potrebno unaprediti.

Pregledna šema celog procesa je prikazana na Slici 4 sa jasno označenim delovima u sklopu kojih se tretira nepreciznost i nesigurnost. U nastavku ovog poglavlja biće prikazan matematički osnov metodologija čija je integracija predložena i to:

⁴ Razlikovati neprecizni *IDEA* metod (*Imprecise DEA*) koji je razvio Cook et al. (1993, 1996) od integrisanog *i*DEA metoda (*integrated DEA*) koji je razvijen u sklopu ove doktorske disertacije.



Slika 4. Metodološki okvir za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja iDEA kompozitnim indeksom

- ✓ Sivi brojevi – za obradu nepreciznosti subjektivnih ulaznih indikatora;
- ✓ Višeslojna analiza obavijanja podataka – za ponderisanje i agregaciju indikatora;
- ✓ *DEA* nadgradnja za izbor jedinstvenog seta optimalnih pondera;
- ✓ Siva relaciona analiza – za agregaciju vrednosti unakrsnih efikasnosti;
- ✓ *FANMA* dodela težinskih koeficijenata – za ponderisanje matrice prilikom primene sive relacione analize;
- ✓ Regresiona i klaster analiza – za grupisanje teritorija.

Osim navedenih, prikazani su i koraci statističkih analiza koje su korišćene za proveru i potvrdu ispravnosti postupka:

- ✓ -z vrednost;
- ✓ Mahalanobisova distanca;
- ✓ ANOVA test;
- ✓ Levenov test.

4.1. Izbor indikatora

Bezbednost saobraćaja predstavlja složen sistem koji integriše sve parametre vezane za čoveka, vozilo i infrastrukturu. Te oblasti su međusobno povezane i zavisne, a na svaku utiče barem jedan (ako ne više) indikator (Al Haji, 2007). Izbor adekvatnog seta indikatora od kojih će se konstruisati kompozitni indeks i koji će doprineti uspostavljanja pouzdanog sistema ocene stanja bezbednosti i konstrukcije jedinstvenog kompozitnog indeksa vrši se u cilju:

- sagledavanja i definisanja fenomena saobraćajnih nezgoda;
- definisanja ranga teritorija i njihovog poređenja s drugima;
- obezbeđenja informacija donosiocima odluka o određenim aspektima bezbednosti;
- planiranja, implementacije i razvoja akcionih planova i strategija itd.

Relevantnost i pouzdanost kompozitnog indeksa u najvećoj meri zavisi od kvaliteta podataka od kojih je indeks konstruisan (Hermans, 2009). Iako izbor indikatora mora biti zasnovan na teorijskim osnovama, izbor podataka koji će ih predstavljati zavisi od subjektivnog izbora eksperta. Na pouzdanost konačne ocene utiče i sam nedostatak podataka. Vis et al. (2008) su utvrdili da često nedostaju čak i osnovni podaci ili pak, da su dostupni podaci lošeg kvaliteta. Stoga, istraživači prilikom konstruisanja kompozitnog indeksa moraju napraviti kompromis između teoretski idealnih podataka, podataka koje je moguće prikupiti i pratiti (uzimajući u obzir za to relevantne metode) i dostupnih podataka.

Hermans et al. (2009b) su dokazali da vrednost kompozitnog indeksa bezbednosti i rang teritorija u najvećoj meri zavise od izabranog seta indikatora i da promena (ili izostavljanje) samo jednog pokazatelja u znatnoj meri utiče na konačni rang. Zato se veliki broj naučnika (kao npr. Wegman & Oppe (2010), Gitelman et al. (2010), Pešić et al. (2013), Tešić et al. (2018) i drugi) u svojim istraživanjima bavio izborom pokazatelja koji će biti korišćeni za kreiranje kompozitnog indeksa, kao i ispitivanjem kako se izbor svakog pojedinačnog pokazatelja reflektuje na konačnu ocenu. Iako dokazano uticajni na vrednost indeksa, još uvek ne postoji unificirani set relevantnih indikatora, kao ni standardizovana metodologija za njihov izbor.

Prema tome, svaki istraživač ima mogućnost da izabere indikatore koji najbolje oslikavaju sam cilj istraživanja. Kao što je već rečeno, glavni cilj ove doktorske disertacije je predlog relevantne metodologije za kreiranje kompozitnog indeksa bezbednosti kada su izabrani indikatori opisani nedovoljno pouzdanim, odnosno sivim podacima, Stoga, sam izbor seta indikatora nije bio poseban predmet ovog rada, već je autor ove disertacije, a oslanjajući se na opširan pregled literature (poglavlje 3.1), izvršio selekciju indikatora koji će biti implementirani:

- **Indikatori performansi bezbednosti** (*Safety Performance Indicators, SPI*) – stavovi i ponašanje vozača u saobraćaju predstavljaju mere koje su uzročno povezane sa brojem saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica (ETSC, 2001). Najčešće analizirana ponašanja vozača u literaturi, koja ujedno predstavljaju i izabrane indikatore (*SPI*) za kreiranje *iDEA* kompozitnog indeksa su:
 - ✓ vožnja brzinom većom od dozvoljene,
 - ✓ vožnja pod uticajem alkohola,
 - ✓ upotreba sigurnosnog pojasa i
 - ✓ korišćenje telefona u toku vožnje.

- **Mere rizika:**
 - ✓ broj vozila na 1000 stanovnika,
 - ✓ broj vozila na 1 km puta.

- **Opšte karakteristike teritorije:**
 - ✓ gustina mreže,
 - ✓ procenat magistralnih puteva,
 - ✓ procenat regionalnih puteva,
 - ✓ gustina naseljenosti,
 - ✓ procenat mladih u strukturi stanovništva,
 - ✓ indeks razvijenosti teritorije i
 - ✓ sezonalne varijacije saobraćaja.

- **Konačni ishodi:**
 - ✓ broj saobraćajnih nezgoda samo sa materijalnom štetom,
 - ✓ broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima,
 - ✓ broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima,
 - ✓ broj povređenih lica,
 - ✓ broj poginulih lica.

Većina istraživanja koja su ispitivala uticaj pojedinih faktora na stanje bezbednosti saobraćaja slažu se da je ljudski faktor najčešći uzrok nastanka saobraćajnih nezgoda i veličine posledica (Lipovac, 2008; Dingus et al., 2016; Tešić, 2018; Weber et al., 2018; Bucsuházy et al., 2020). Presudne komponente koje se tiču ljudskih faktora su percepcija i ponašanje učesnika u saobraćaju (Tešić, 2018; Čubranić-Dobrodolac et al. 2021). Percepcija predstavlja složen fenomen koji direktno utiče na kognitivne procese vožnje (Čubranić-Dobrodolac et al., 2021) i posledično, ima veliki uticaj na nivo bezbednosti saobraćaja. Autori se slažu oko značaja percepcije na konačnu ocenu bezbednosti međutim, praktična implementacija prilikom kreiranja kompozitnog indeksa uglavnom izostaje a ta vrsta istraživanja se navodi kao jedan od najzahtevnijih koraka (Tešić, 2018) upravo zbog prirode takvih podataka. Stoga, da bi se prevazišao pomenuti nedostatak u literaturi, u ovoj doktorskoj disertaciji će se za kreiranje sveobuhvatnog kompozitnog indeksa bezbednosti na teritoriji uzeti u obzir kako ponašanja tako i stavovi (percepcija) učesnika u saobraćaju.

Dalje, jedan od navedenih pokazatelja kojim se opisuje karakteristika teritorije je pokazatelj sezonalne varijacije saobraćaja. S obzirom da se studija slučaja u ovoj disertaciji vrši u zemlji koja je dominantno turistička (Crna Gora), broj vozila na putevima se značajno menja u zavisnosti od toga da li je u toku turistička sezona ili ne (Grdinić & Pajković, 2015). Prema tome, vozila koja nisu registrovana u zemlji čija se bezbednost ocenjuje, nisu uzeta u obzir u pokazatelju o broju vozila, a učestvuju u određenom broju saobraćajnih nezgoda (Pajković & Grdinić, 2013; 2014a). S ciljem da se pri proračunu kompozitnog indeksa implementira informacija o mogućem uticaju „stranih“ vozila na nekoj teritoriji, uveden je novi pokazatelj,

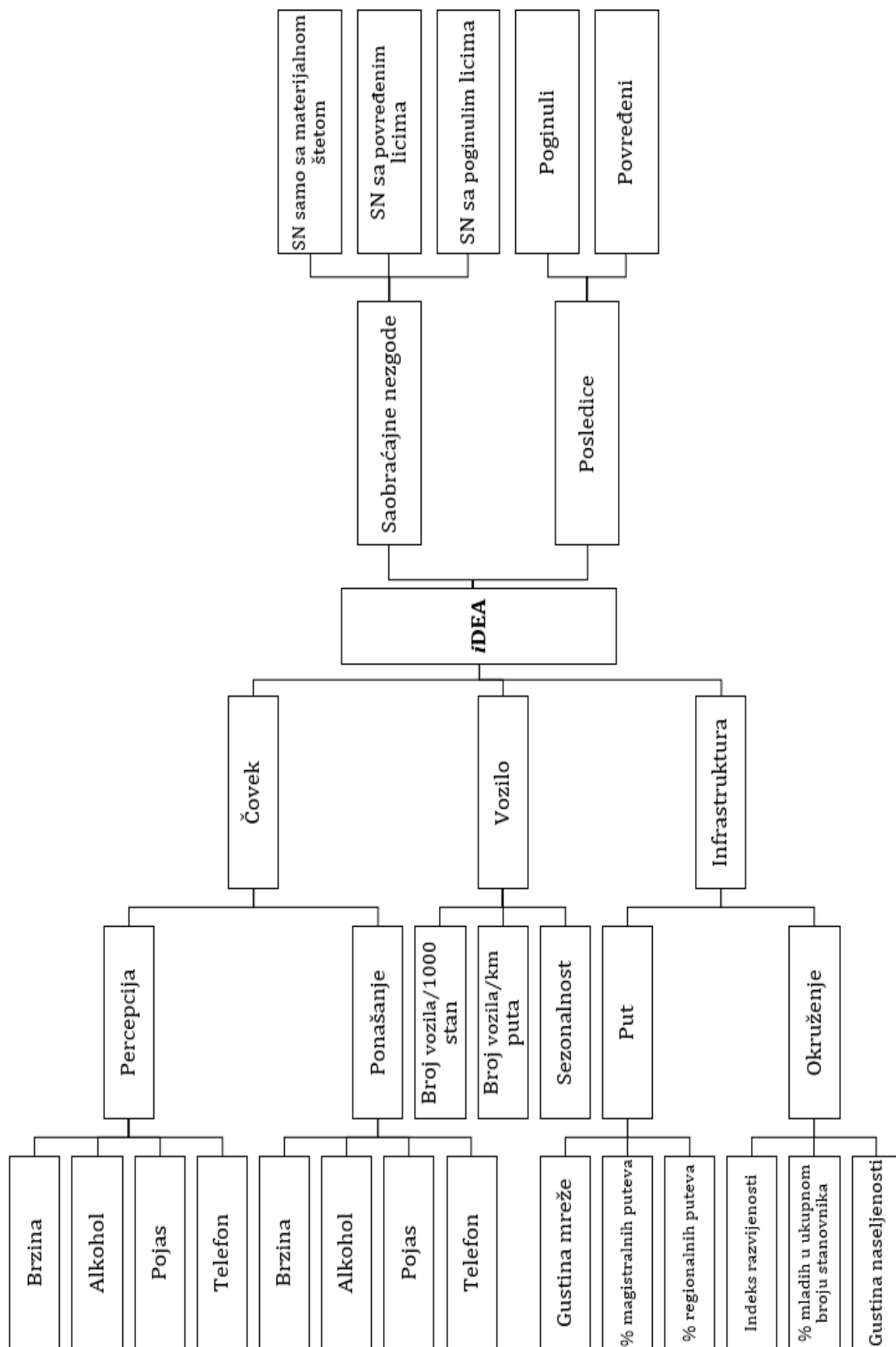
pokazatelj sezonalnosti. Sezonalnost opisuje da li i u kojoj meri postoji sezonalna varijacija u protoku saobraćaja tokom godine na putevima na posmatranoj teritoriji.

Kada je reč o konačnim ishodima, neki istraživači za kreiranje kompozitnog indeksa koriste apsolutni broj saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica na određenoj teritoriji (Shen et al., 2012; 2013a; Egilmez & McAvoy, 2013; Omrani et al., 2020a; Chang et al., 2020; itd.) dok drugi (Gitelman et al., 2010; Bastos et al., 2015; Chen et al., 2015; Liu et al., 2017; itd.) koriste relativni odnos tog broja prema nekoj od mera izloženosti (kao npr. broj nezgoda prema broju stanovnika). Koji pokazatelj će se koristiti zavisi isključivo od istraživača, predmeta i cilja istraživanja, ali i metodologije koja je korišćena za konačan odabir. Analiza obavljanja podataka koja je korišćena u ovoj disertaciji podrazumeva da svaka *DMU* ima zasebnu funkciju linearnog programiranja pri čemu je naglašen akcenat na pojedinačnim jedinicama odlučivanja. *DEA* za svaku *DMU* vrši optimizaciju odnosa njenih izlaznih i ulaznih veličina tražeći maksimalnu vrednost, pa samim tim svaka jedinica odlučivanja ima jedinstvenu meru tih odnosa. Upravo ova karakteristika *DEA* metoda istraživaču omogućava raznolik izbor indikatora koji, između ostalog, mogu biti apsolutne ili relativne vrednosti. Svaka *DMU* za sebe određuje meru upotrebe ulaznih faktora za proizvodnju željenih rezultata i ta mera se ogleda u vrednostima dodeljenih težinskih koeficijenata. Stoga je pri analizi krajnjih rezultata neophodno posmatrati vrednosti „relativnih ulaza“, odnosno „relativnih izlaza“, umesto dodeljenih vrednosti pondera i upravo zbog ove karakteristike nije potrebna ni prethodna normalizacija podataka. Kada je reč o konačnim ishodima u ovom istraživanju, a oslanjajući se na gorenavedeno i uzimajući u obzir da u nezanemarljivom broju saobraćajnih nezgoda na teritoriji Crne Gore učestvuju lica i vozila koja su „stranci“ (odnosno vozila koja nisu registrovana u zemlji i lica koja nemaju prebivalište u nekoj od opština u Crnoj Gori) autor je, s jedne strane, za pomenute pokazatelje odabrao ukupan broj saobraćajnih nezgoda i posledica u svakoj opštini, dok je uticaj „stranaca“ adresiran preko pokazatelja sezonalne varijacije saobraćaja.

Važno je napomenuti da je prikazani izbor indikatora subjektivan i ovde je poslužio pre svega za eksperimentalnu proveru primene predloženog integrisanog metoda za ocenu bezbednosti saobraćaja u oblasti nepouzdanih podataka. U budućim istraživanjima bi se svakako trebalo osvrnuti i na unapređenje izbora indikatora, kao i na eventualno definisanje i standardizaciju jedinstvenog seta najpogodnijeg za ocenu stanja bezbednosti.

4.1.1. Razvoj hijerarhijske strukture indikatora

Na bezbednost saobraćaja utiču mnogobrojni faktori (Hermans et al., 2010a) koji se dalje mogu predstavljati većim brojem indikatora konstruišući na taj način hijerarhijsku strukturu sa više nivoa (Bao et al. 2012). Primena hijerarhijske strukture indikatora nije nov koncept u oceni stanja bezbednosti. Hermans et al. (2010a), Bao (2010), Bao et al. (2012), Shen et al. (2011b; 2012; 2013b; 2018), Khorasani et al. (2013), Chen et al. (2015; 2016; 2017), Grdinić-Rakonjac & Pajković (2020), Grdinić-Rakonjac et al. (2021a, 2021b), Grdinić-Rakonjac & Antić (2021), Babae et al. (2021) i Tufail et al. (2021) su neki od autora koji su kompozitni indeks bezbednosti saobraćaja konstruisali pomoću indikatora poređanih na hijerarhijskoj lestvici. Na osnovu pregleda relevantne literature definisano je pet glavnih komponenti drumskog saobraćaja (čovek, vozilo, infrastruktura, saobraćajne nezgode i posledice saobraćajnih nezgoda). Konačno, ukupno 19 indikatora poređanih na tri nivoa predstavljaju izabrane karakteristike svakog domena (Slika 5).



Slika 5. Hijerarhijska struktura indikatora za kreiranje iDEA indeksa

4.1.2. Obrada nesigurnih podataka – sivi brojevi

Podaci većine izabranih indikatora prikupljaju se iz relevantnih baza podataka i prikazuju kvantitativno, a njihova analiza se uglavnom zasniva na primeni statističkih metoda. Međutim, indikatori ponašanja i percepcije prikupljaju se unapred metodološki uspostavljenim snimanjima (najčešće metodom ankete). Tako prikupljeni podaci izražavaju subjektivno mišljenje i opisani su jezičkim promenljivim a njihovo opisivanje numeričkom vrednošću ne može biti u potpunosti tačno i precizno (Teodorović, 1999; Zhu & Hipel, 2012). Kada su u pitanju tako neprecizne i nesigurne vrednosti kojima se opisuje ponašanje i percepcija učesnika u saobraćaju, za njihovu obradu se najčešće koristi teorija rasutih skupova (*fuzzy* teorija) čija je efikasnost u odnosu na statističke metode već dokazana (Čubranić-Dobrodolac et al., 2020; Pajković & Grdinić-Rakonjac, 2021). Međutim, novija istraživanja su pokazala da je za obradu podataka čija se nesigurnost ogleda u nepreciznosti i nepotpunoj tačnosti, pogodnija teorija sivih sistema (Javed & Liu, 2019).

Teorija sivih brojeva je jedna od novijih teorija koja je razvijena na osnovu koncepta teorije sivih sistema koju je za predstavljanje neizvesnosti predložio Deng (1982). U teoriji sivih sistema sve informacije su definisane kao *bele* (potpuno poznate), *sive* (nepotpune) i *crne* (nepoznate). Sivi brojevi predstavljaju osnovni deo ovih sistema koji se, osim sivim brojevima, opisuje i sivim jednačinama i sivim matricama. Sivi brojevi su našli svoju primenu za opisivanje subjektivnosti ljudskog mišljenja u mnogim oblastima (Li et al., 2007; Zavadskas et al., 2009; Mehrjerdi, 2014; Zare et al., 2018; Maghrabie et al., 2019; Duman et al., 2019; Mahmoudi et al., 2019; 2020; Badi & Pamučar, 2020; Wei et al., 2020; Shajedul, 2021), a u ovoj disertaciji će se po prvi put koristiti za opisivanje ponašanja i percepcija učesnika u saobraćaju. Glavni cilj ovog koraka je da se primenom navedene metodologije dobiju što pouzdanije vrednosti podataka prikupljenih anketiranjem, a koji će u sklopu domena „čovjek“ biti dalje agregirani sa ostalim izabranim indikatorima. Predloženi pristup zasniva se na *beljenju* sivih brojeva kojima su opisane vrednosti jezičkih promenljivih koje su prikupljene sprovođenjem upitnika, a zatim implementacija tako izbeljenih *crisp* vrednosti u višeslojnu analizu obavljanja podataka.

Više o teoriji sivih sistema se može naći u (Liu & Lin, 2006; 2010; Fang et al., 2009; Liu et al., 2016) dok će u nastavku ovog poglavlja biti prikazane osnovne definicije sivih brojeva i operacije sa njima.

Sivi broj se uglavnom predstavlja pomoću simbola „ \otimes “ i može se definisati kao broj sa neizvesnim informacijama. Na primer, ako se ocene atributa opisuju lingvističkim promenljivima, onda postoji numerički interval kojim se definiše vrednost te promenljive a upravo taj interval sadrži neizvesnost. Prema tome, sivi broj je takav da je njegova vrednost nepoznata ali su poznate granice intervala u kom se ta vrednost nalazi. Postoji nekoliko vrsta sivih brojeva a njihovo predstavljanje koje je dato u nastavku je preuzeto iz Liu et al. (2016).

- (I) Sivi brojevi samo sa donjom granicom – sivi broj koji nema definisanu gornju granicu već samo donju, predstavlja se kao $\otimes g \in [\underline{g}, \infty)$ ili $\otimes (\underline{g})$, pri čemu (\underline{g}) predstavlja poznatu donju granicu (unapred definisanu vrednost) sivog broja.
- (II) Sivi brojevi samo sa gornjom granicom – sivi broj koji nema definisanu donju granicu već samo gornju, predstavlja se kao $\otimes g \in (-\infty, \overline{g}]$ ili $\otimes (\overline{g})$, pri čemu (\overline{g}) predstavlja poznatu gornju granicu sivog broja.
- (III) Intervalni sivi brojevi – sivi brojevi sa jasno definisanim granicama (donjom (\underline{g}) i gornjom (\overline{g})) predstavlja se kao $\otimes g \in [\underline{g}, \overline{g}]$
- (IV) Diskretni i neprekidni sivi brojevi – ukoliko sivi broj može da uzme prebrojiv ili konačan broj potencijalnih vrednosti naziva se diskretnim, a ukoliko može da uzme bilo koju vrednost unutar nekog intervala, takav sivi broj se naziva neprekidnim.

- (V) Crni i beli brojevi – ukoliko $\otimes g$ nema definisanu ni gornju ni donju granicu, odnosno ako je $\otimes g \in (-\infty, \infty)$ taj broj se naziva crni broj; ukoliko $\otimes g$ ima definisane obe granice $\otimes g \in [\underline{g}, \overline{g}]$, pri čemu je $\underline{g} = \overline{g}$, onda se takav broj naziva beli broj.
- (VI) Esencijalni i neesencijalni sivi brojevi – esencijalni predstavljaju one sive brojeve koji se privremeno ne mogu prikazati belim brojevima, dok se neesencijalni mogu predstaviti belim brojevima dobijenim ili iskustvom ili primenom određene metode.

Kao što je rečeno, sivi broj predstavlja nesigurni broj čija je vrednost u određenom intervalu. Prema tome, intervalni sivi broj $\otimes g \in [\underline{g}, \overline{g}]$, $\underline{g} < \overline{g}$ se razlikuje od intervalnog broja $[\underline{g}, \overline{g}]$, $\underline{g} < \overline{g}$ po tome što intervalni sivi broj predstavlja jednu vrednost iz datog intervala dok intervalni broj predstavlja ceo interval. Sa pretpostavkom da su dva siva broja definisana kao $\otimes g_1 \in [\underline{g}_1, \overline{g}_1]$, $\underline{g}_1 < \overline{g}_1$ i $\otimes g_2 \in [\underline{g}_2, \overline{g}_2]$, $\underline{g}_2 < \overline{g}_2$ operacije sa sivim brojevima su u nastavku:

1) Sabiranje:

$$\otimes g_1 + \otimes g_2 \in [\underline{g}_1 + \underline{g}_2, \overline{g}_1 + \overline{g}_2]$$

2) Inverzna vrednost:

$$-\otimes g_1 \in [-\overline{g}_1, -\underline{g}_1]$$

3) Oduzimanje:

$$\otimes g_1 - \otimes g_2 = \otimes g_1 + (-\otimes g_2) \in [\underline{g}_1 - \overline{g}_2, \overline{g}_1 - \underline{g}_2]$$

4) Množenje

$$\otimes g_1 \cdot \otimes g_2 = [\min \{ \underline{g}_1 \underline{g}_2, \underline{g}_1 \overline{g}_2, \overline{g}_1 \underline{g}_2, \overline{g}_1 \overline{g}_2 \}, \max \{ \underline{g}_1 \underline{g}_2, \underline{g}_1 \overline{g}_2, \overline{g}_1 \underline{g}_2, \overline{g}_1 \overline{g}_2 \}]$$

5) Recipročna vrednost: $\underline{g}_1 \neq 0, \overline{g}_1 \neq 0$

$$\otimes g_1^{-1} \in \left[\frac{1}{\overline{g}_1}, \frac{1}{\underline{g}_1} \right]$$

6) Deljenje:

$$\otimes g_1 / \otimes g_2 = \otimes g_1 \cdot \otimes g_2^{-1} \in [\min \{ \frac{\underline{g}_1}{\underline{g}_2}, \frac{\underline{g}_1}{\overline{g}_2}, \frac{\overline{g}_1}{\underline{g}_2}, \frac{\overline{g}_1}{\overline{g}_2} \}, \max \{ \underline{g}_1 \underline{g}_2, \underline{g}_1 \overline{g}_2, \overline{g}_1 \underline{g}_2, \overline{g}_1 \overline{g}_2 \}]$$

7) Množenje skalarom: $k \in R, k > 0$

$$k \cdot \otimes g_1 \in [k \cdot \underline{g}_1, k \cdot \overline{g}_1]$$

8) Stepenovanje: $k \in R, k > 0$

$$\otimes g_1^k \in [\underline{g}_1^k, \overline{g}_1^k]$$

9) Dužina sivog grey broja:

$$l(\otimes g) = (\overline{g} - \underline{g})$$

10) Beljenje sivog broja: $\alpha \in [0, 1]$

$$\widetilde{\otimes} g = \alpha \cdot \underline{g} + (1 - \alpha) \cdot \overline{g}$$

Za vrednost pozicionog koeficijenta α najčešće se uzima vrednost $\alpha = \frac{1}{2}$ pri čemu nastupa „srednje beljenje“ i tada je:

$$\widetilde{\otimes} g = \frac{1}{2}(\underline{g} + \overline{g})$$

11) Stepen „sivosti“:

$$g^0(\otimes g) = \frac{\mu(\otimes g)}{\mu(\Omega)}$$

pri čemu je Ω osnovni skup intervalnog broja ($\otimes g \in \Omega$) a μ predstavlja meru skupa Ω . Ako je $g^0(\otimes g) = 0$ onda $\otimes g$ predstavlja beli broj a ako je $g^0(\otimes g) = 1$ u pitanju je crni broj.

$$g^0(\otimes g) = \frac{l(\otimes g)}{|\otimes g|} \text{ (Liu et al, 2006)}$$

12) Rastojanje između dva siva broja:

$$d(\otimes g_1, \otimes g_2) = \frac{\underline{g}_1 - \overline{g}_1}{2} - \frac{\underline{g}_2 - \overline{g}_2}{2} = \frac{1}{2} \{ (\underline{g}_1 - \underline{g}_2) + (\overline{g}_1 - \overline{g}_2) \}$$

Primenom sivih brojeva, može se reći da se vrši takozvano *sivljenje* Likert-skale a analogno opšteprihvaćenom fazifikaciji *Saaty*-skale (Božanić & Pamučar, 2016; Božanić, et al. 2018). Naime, svaka jezička promenljiva se predstavlja sivim brojem sa unapred određenim granicama. Za razliku od Likert-skale po kojoj se vrednosti smatraju apsolutno preciznim i tačnim, primenom logike sivih brojeva uzima se u obzir nepreciznost i nesigurnost subjektivnog mišljenja iskazanog jezičkim procenama.

Kada se dobiju konačne vrednosti svih indikatora, u zavisnosti od dalje metodologije, da bi se obezbedilo da sve vrednosti budu uporedive, pristupa se normalizaciji. U ovom istraživanju vršena je linearna-max transformacija:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (6)$$

4.1.3. Validacija izabranih indikatora

Indikatori su izabrani i grupisani na osnovu sveobuhvatog pregleda literature iz oblasti konstruisanja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja. S obzirom na različite metode prikupljanja i obrade podataka neophodno je izvršiti proveru i validaciju izabranih indikatora i njihovih vrednosti. Potrebno je ispitati korelaciju izabranih indikatora sa merom saobraćajnog rizika, teorijsku vezu indikatora sa problemom bezbednosti na putu i odstupanja u vrednostima izabranih indikatora (univarijantna i multivarijantna analiza).

S obzirom da indikatori performansi bezbednosti (*SPI*) sadrže faktore koji mogu da utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica, poželjno je da ovi indikatori imaju negativnu korelaciju sa neželjenim ishodom kao što je stopa poginulih ili povređenih lica. Bastos (2014) je u svom radu pokazao da neki od pokazatelja bezbednosti mogu imati visoku pozitivnu korelaciju sa negativnim ishodom saobraćajnih nezgoda a kao primer je naveo starost vozila. U njegovoj analizi se pokazalo da veća starost vozila znači manju stopu smrtnosti, odnosno veći nivo bezbednosti. To ne korespondira sa postojećom teorijom po kojoj, ukoliko svi ostali indikatori ostanu nepromenjeni, veća starost vozila utiče na smanjenje nivoa bezbednosti (Page & Rackliff, 2006). Prema tome, u slučaju da postoji jasna teorijska zavisnost nekog pokazatelja i nivoa bezbednosti, on se može uzeti u obzir i pored neadekvatnog koeficijenta korelacije. Stoga, za svaki od izabranih indikatora se računa Pirsonov koeficijent korelacije u odnosu na negativne ishode saobraćajnih nezgoda (npr. broj saobraćajnih nezgoda, broj poginulih na 100.000 stanovnika i sl.), a odgovarajućim se smatra onaj koji ima negativnu korelaciju bar sa jednim negativnim ishodom ili ukoliko ima dokazanu teorijsku zavisnost sa nivoom bezbednosti.

Na osnovu prikupljenih vrednosti indikatora, neophodno je svaki indikator proučiti odvojeno. Validacija vrednosti izabranih indikatora može se izvršiti metodama univarijantne i multivarijantne statistike za otkrivanje odstupanja $-z$ vrednost i Mahalanobisova distanca (Ben-Gal, 2005).

I. $-z$ vrednost

Glavna pretpostavka univarijantne metode z vrednost je generisani model koji omogućava da se iz raspodele G_1, \dots, G_k nasumično uzorkuje mali broj posmatranja, razlikujući se od ciljne raspodele F za koju se pretpostavlja da ima normalnu distribuciju podataka $N(\mu, \sigma^2)$. Problem identifikacije odstupanja na taj način postaje problem otkrivanja onih odstupanja koji se nalaze u tzv. regionu odstupanja pa je za svaki koeficijent poverenja α , $0 < \alpha < 1$, region odstupanja $N(\mu, \sigma^2)$ raspodele:

$$\text{outlier}(\alpha, \mu, \sigma^2) = \{x: |x - \mu| > z_{1-\alpha/2}\sigma\} \quad (7)$$

pri čemu z_q predstavlja kvantil $N(0,1)$ raspodele. Broj x je α -odstupanje u odnosu na F u slučaju $x \in outlier(\alpha, \mu, \sigma^2)$. Prateći navedeni princip, računa se z vrednost svakog podatka na sledeći način:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{sd} \quad (8)$$

gde \bar{x} predstavlja srednju vrednost a sd standardnu devijaciju posmatranog uzorka. Ukoliko je apsolutna vrednost veličine z veća od 3, onda se smatra da se posmatrana veličina razlikuje od uzorka.

II. Mahalanobisova distanca

Uvid u strukturu i međusobne odnose skupa podataka (proučavanjem više indikatora istovremeno) i utvrđivanje odstupanja (odstupanje kombinacija vrednosti) testirano je primenom Mahalanobisove distance. Ovaj metod multivarijantne statistike se zasniva na merenju udaljenosti vektora aritmetičkih sredina dve analizirane grupe uzimajući u obzir korelaciju unutar grupe i oblik grupe. Ukoliko n predstavlja broj opažanja unutar p -dimenzionalnog skupa podataka, \bar{x}_n vektor srednje vrednosti i V_n matricu kovarijanse uzorka gde:

$$V_n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)(x_i - \bar{x}_n)^T \quad (9)$$

onda je kvadratna vrednost Mahalanobisove distance:

$$D_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^T V_n^{-1} (x_i - \bar{x}_n) \quad (10)$$

S obzirom da se polazi od pretpostavke da su matrice kovarijanse unutar grupa približno jednake i da D_i^2 prati hi-hvadrat raspodelu sa onoliko stepeni slobode koliko ima promenljivih, vrednost se smatra odstupajućom ukoliko je D_i^2 statistički značajna ($p < 0,001$).

4.2. Razvoj novog integrisanog modela za ponderisanje i agregaciju kompozitnog indeksa iDEA

4.2.1. Višeslojna analiza obavijanja podataka

Sa razvojem kompozitnog indeksa i njegove kompleksne strukture, javila se potreba za razvoj metodologije koja će u obzir uzeti sve veći broj pojava (indikatora) kojima se opisuje neki sistem (bezbednost saobraćaja). Ako se svi indikatori posmatraju kao da pripadaju jednom nivou, do izražaja dolaze slabosti *DEA* koje se tiču nerealistične dodele pondera i niske sposobnosti rangiranja. Meng et al. (2008) je prvi autor koji je uveo hijerarhijsku strukturu indikatora u analizu obavijanja podataka. Njegovo rešenje podrazumevalo je da težinske koeficijente između domena dodeljuje *DEA*, dok se težinski koeficijenti unutar domena računaju metodom ponderisane sume. Međutim, procedura u kom su ponderi izračunati primenom nekog matematičkog modela i implementirani u *DEA*, predstavlja nelinearni metod koji je veoma zahtevan, a nekad i nemoguć za proračun. Nakon toga, Kao (2008) je razvio linearni model uvodeći određene promenljive supstitucije. Oba ova predložena modela su bila dvoslojna i nisu mogla zadovoljiti potrebu za sve složenijim problemom ocene stanja bezbednosti saobraćaja na nekoj teritoriji. Stoga je Shen et al. (2011b) razvio opšti višeslojni *DEA* model (*Multiple Layer Data Envelopment Analysis, MLDEA*) koji, uključivanjem različitih vrsta mogućih težinskih ograničenja za svaku kategoriju (domen) na svakom nivou, u potpunosti odražava hijerarhijsku strukturu indikatora. *MLDEA* model je u ovoj doktorskoj disertaciji primenjen kao osnova predložene integrisane metodologije i korišćen je za agregaciju i ponderisanje indikatora definisanih u poglavlju 4.1.1. i poređanih na hijerarhijskoj lestvici. Matematička formulacija *MLDEA* koja je prikazana u nastavku ovog poglavlja prati nomenklaturu iz poglavlja 3.3.1. i preuzeta je iz Shen et al. (2011b).

Razmatra se skup od n jedinica odlučivanja (DMU), od kojih svaka koristi m različitih ulaznih veličina da bi proizvela s različitih izlaznih veličina, y_{rj} i x_{ij} predstavljaju izlazne i ulazne veličine j -te DMU , u_r i $v_i \geq 0$ su promenljivi težinski koeficijenti, suma $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$ predstavlja „virtuelni izlaz“ dok suma $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$ predstavlja „virtuelni ulaz“, u_r^* i v_i^* su najpovoljniji težinski koeficijenti (tzv. optimalni ponderi) za neku DMU . Višeslojna DEA razmatra hijerarhijsku strukturu indikatora koja ima L nivoa ulaznih i K nivoa izlaznih veličina. U tom slučaju, $s^{(k)}$ predstavlja broj kategorija izlaznih veličina na k -tom nivou ($k = 1, 2, \dots, K$) gde je $s^{(1)} = s$, a $m^{(l)}$ predstavlja broj kategorija ulaznih veličina na l -tom nivou ($l = 1, 2, \dots, L$) gdje je $m^{(1)} = m$.

Osnovni princip $MLDEA$ modela je da se prvo agregiraju vrednosti ulaznih i izlaznih veličina unutar određene kategorije na određenom nivou koristeći pristup ponderisane sume čiji je zbir (unutrašnjih) težinskih koeficijenata jednak jedinici, dok se na poslednjem nivou ponderi određuju osnovnim DEA pristupom (opisanim u poglavlju 2.3.1.). Ukoliko $A_{f_k}^{(k)}$ i $B_{g_l}^{(l)}$ predstavljaju set ulaznih i izlaznih veličina g -te kategorije na l -tom nivou ulaznih veličina i f -te kategorije na k -tom nivou izlaznih veličina, respektivno, onda se agregirana vrednost ulaznih veličina DMU_0 jedinice odlučivanja može izraziti kao:

$$\begin{aligned} x_{g_{L0}}^{(L)} &= \sum_{g_{L-1} \in B_{g_L}^{(L)}} q_{g_{L-1}}^{(L-1)} \left(\dots \sum_{g_l \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} q_{g_l}^{(l)} \left(\dots \sum_{g_2 \in B_{g_3}^{(3)}} q_{g_2}^{(2)} \left(\sum_{g_1 \in B_{g_2}^{(2)}} q_{g_1}^{(1)} x_{g_1 0}^{(1)} \right) \right) \right) \\ \sum_{g_l \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} q_{g_l}^{(l)} &= 1, \\ q_{g_l}^{(l)} &\geq \zeta, \\ g_l &= 1, \dots, m^{(l)}, \\ l &= 1, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (11)$$

pri čemu $q_{g_l}^{(l)}$ predstavlja unutrašnje težinske koeficijente indikatora u g -toj kategoriji na l -tom nivou ulaznih veličina i čiji je zbir jednak jedinici unutar određene kategorije. Da se ne bi zanemario neki od indikatora, odnosno da bi osigurale pozitivne vrednosti težinskih koeficijenata, uveden je broj ζ koji predstavlja dovoljno malu vrednost (najčešće 0,001). Analogno jednačini (11), agregirana vrednost izlaznih veličina DMU_0 jedinice odlučivanja se može izraziti kao:

$$\begin{aligned} y_{f_{K0}}^{(K)} &= \sum_{f_{K-1} \in A_{f_K}^{(K)}} p_{f_{K-1}}^{(K-1)} \left(\dots \sum_{f_k \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} p_{f_k}^{(k)} \left(\dots \sum_{f_2 \in A_{f_3}^{(3)}} p_{f_2}^{(2)} \left(\sum_{f_1 \in A_{f_2}^{(2)}} p_{f_1}^{(1)} y_{f_1 0}^{(1)} \right) \right) \right) \\ \sum_{f_k \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} p_{f_k}^{(k)} &= 1, \\ p_{f_k}^{(k)} &\geq \zeta, \\ f_k &= 1, \dots, s^{(k)}, \\ k &= 1, \dots, K-1 \end{aligned} \quad (12)$$

pri čemu $p_{f_k}^{(k)}$ predstavlja unutrašnje težinske koeficijente indikatora u f -toj kategoriji na k -tom nivou izlaznih veličina. Kada se izvrši zamena $x_{g_{L0}}^{(L)}$ i $y_{f_{K0}}^{(K)}$ iz (11) i (12) u ulazno-orijentisani CCR model (1) u poglavlju 2.3.1. izvodi se $MLDEA$ model:

$$\max E_0 = \sum_{f_K=1}^{s^{(K)}} u_{f_K} \left(\sum_{f_{K-1} \in A_{f_K}^{(K)}} p_{f_{K-1}}^{(K-1)} \left(\dots \sum_{f_k \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} p_{f_k}^{(k)} \left(\dots \sum_{f_2 \in A_{f_3}^{(3)}} p_{f_2}^{(2)} \left(\sum_{f_1 \in A_{f_2}^{(2)}} p_{f_1}^{(1)} y_{f_1 0}^{(1)} \right) \right) \right) \right) \quad (13)$$

sa ograničenjima:

$$\begin{aligned} \sum_{g_L=1}^{m^{(L)}} v_{g_L} \left(\sum_{g_{L-1} \in B_{g_L}^{(L)}} q_{g_{L-1}}^{(L-1)} \left(\dots \sum_{g_l \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} q_{g_l}^{(l)} \left(\dots \sum_{g_2 \in B_{g_3}^{(3)}} q_{g_2}^{(2)} \left(\sum_{g_1 \in B_{g_2}^{(2)}} q_{g_1}^{(1)} x_{g_1 0}^{(1)} \right) \right) \right) \right) &= 1 \\ \sum_{f_K=1}^{s^{(K)}} u_{f_K} \left(\sum_{f_{K-1} \in A_{f_K}^{(K)}} p_{f_{K-1}}^{(K-1)} \left(\dots \sum_{f_k \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} p_{f_k}^{(k)} \left(\dots \sum_{f_2 \in A_{f_3}^{(3)}} p_{f_2}^{(2)} \left(\sum_{f_1 \in A_{f_2}^{(2)}} p_{f_1}^{(1)} y_{f_1 0}^{(1)} \right) \right) \right) \right) - \\ \sum_{g_L=1}^{m^{(L)}} v_{g_L} \left(\sum_{g_{L-1} \in B_{g_L}^{(L)}} q_{g_{L-1}}^{(L-1)} \left(\dots \sum_{g_l \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} q_{g_l}^{(l)} \left(\dots \sum_{g_2 \in B_{g_3}^{(3)}} q_{g_2}^{(2)} \left(\sum_{g_1 \in B_{g_2}^{(2)}} q_{g_1}^{(1)} x_{g_1 0}^{(1)} \right) \right) \right) \right) &\leq 0 \\ j &= 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$\sum_{f_k \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} p_{f_k}^{(k)} = 1,$$

$$p_{f_k}^{(k)} \geq \zeta, f_k = 1, \dots, s^{(k)}, k = 1, \dots, K-1,$$

$$\sum_{g_l \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} q_{g_l}^{(l)} = 1,$$

$$q_{g_l}^{(l)} \geq \zeta, g_l = 1, \dots, m^{(l)}, l = 1, \dots, L-1,$$

$$u_{f_K}, v_{g_L} \geq \varepsilon, f_K = 1, \dots, s^{(K)}, g_L = 1, \dots, m^{(L)}$$

pri čemu u_{f_K} predstavlja težinski koeficijent f_{-te} izlazne veličine na K_{-tom} (poslednjem) nivou, $f_K = 1, \dots, s^{(K)}$; a v_{g_L} predstavlja težinski koeficijent g_{-te} ulazne veličine na L_{-tom} nivou, $g_L = 1, \dots, m^{(L)}$.

Navedeni *MLDEA* model ima manju fleksibilnost u dodeli težinskih koeficijenata od klasičnog *DEA* modela zbog ograničenja da je zbir unutrašnjih pondera svih kategorija na svim nivoima jednak jedinici. Iz tog razloga efikasnost jedne *DMU* izračunate primenom višeslojne *DEA* analize neće biti veća od efikasnosti dobijene tradicionalnim jednoslojnim modelom. Naprotiv, donekle će pozitivno uticati na uspostavljanje jasnijeg ranga među jedinicama odlučivanja. Ono što je veoma važno napomenuti je to da upravo primena hijerarhijske strukture indikatora omogućava da se težinski koeficijenti tretiraju različito na različitim nivoima. S obzirom da prilikom proračuna dolazi do množenja pondera, jednačina (13) postaje nelinearna a proračun zahtevan, stoga u cilju njene linearizacije uvodi se smena:

$$\hat{u}_{f_1} = \prod_{k=1}^{K-1} p_{f_k}^{(k)} \cdot u_{f_K} \quad (14)$$

$$\hat{v}_{g_1} = \prod_{l=1}^{L-1} q_{g_l}^{(l)} \cdot v_{g_L} \quad (15)$$

pri čemu je $\hat{u}_{f_1} \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon$, $\hat{v}_{g_1} \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon$.

Sabirajući težinske koeficijente indikatora u svakoj kategoriji i svakom nivou, dobija se:

$$\sum_{f_1 \in A_{f_K}^{(K)}} \hat{u}_{f_1} = u_{f_K} \quad (16)$$

$$\sum_{g_1 \in B_{g_L}^{(L)}} \hat{v}_{g_1} = v_{g_L} \quad (17)$$

Konačno, linearni *MLDEA (I)* model je:

$$\max E_0 = \sum_{f_1=1}^s \hat{u}_{f_1} y_{f_1 0} \quad (18)$$

sa ograničenjima:

$$\sum_{g_1=1}^m \hat{v}_{g_1} x_{g_1 0} = 1,$$

$$\sum_{f_1=1}^s \hat{u}_{f_1} y_{f_1 j} - \sum_{g_1=1}^m \hat{v}_{g_1} x_{g_1 j} \leq 0, j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{f_1 \in A_{f_K}^{(K)}} \hat{u}_{f_1} = u_{f_K}, f_1 = 1, \dots, s, f_K = 1, \dots, s^{(K)}$$

$$\sum_{g_1 \in B_{g_L}^{(L)}} \hat{v}_{g_1} = v_{g_L}, g_1 = 1, \dots, m, g_L = 1, \dots, m^{(L)}$$

$$u_{f_K}, v_{g_L} \geq \varepsilon, f_K = 1, \dots, s^{(K)}, g_L = 1, \dots, m^{(L)}$$

$$\hat{u}_{f_1}, \hat{v}_{g_1} \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon, f_1 = 1, \dots, s, g_1 = 1, \dots, m$$

MLDEA model prikazan u (18) još uvek ne odražava hijerarhijsku strukturu indikatora jer ne uzima u obzir unutrašnje pondere već samo one na poslednjem nivou. Ako se posmatra struktura izlaznih veličina, može se napisati:

$$\sum_{f_1 \in A_{f_{K-1}}^{(K-1)}} \hat{u}_{f_1} = p_{f_{K-1}}^{(K-1)} \sum_{f_{K-1} \in A_{f_K}^{(K)}} u_{f_K} \quad (19)$$

Zamenom u_{f_K} iz (16) u (19) dobija se:

$$p_{f_{K-1}}^{(K-1)} \sum_{f_{K-1} \in A_{f_K}^{(K)}} \hat{u}_{f_1} = \frac{\sum_{f_1 \in A_{f_{K-1}}^{(K-1)}} \hat{u}_{f_1}}{u_{f_K}} = \frac{\sum_{f_1 \in A_{f_{K-1}}^{(K-1)}} \hat{u}_{f_1}}{\sum_{f_1 \in A_{f_K}^{(K)}} \hat{u}_{f_1}} \quad (20)$$

Formula (20) se može uopštiti pa će težinski koeficijenti indikatora u svim kategorijama i na svim nivoima biti:

$$p_{f_k}^{(k)} = \frac{\sum_{f_1 \in A_{f_k}^{(k)}} \hat{u}_{f_1}}{\sum_{f_1 \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} \hat{u}_{f_1}}, \quad (21)$$

$$f_k = 1, \dots, s^{(k)}, k = 1, \dots, K - 1,$$

Analogno prethodno, težinski koeficijenti ulaznih veličina će biti:

$$g_{g_l}^{(l)} = \frac{\sum_{g_1 \in B_{g_l}^{(l)}} \hat{v}_{g_1}}{\sum_{g_1 \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} \hat{v}_{g_1}}, \quad (22)$$

$$g_l = 1, \dots, m^{(l)}, l = 1, \dots, L - 1$$

Uvodeći izvedene težinske koeficijente u *MLDEA I* model (18) dobija se *MLDEA II*:

$$\begin{aligned} \max E_0 &= \sum_{f_1=1}^s \hat{u}_{f_1} y_{f_1 0} \\ \text{sa ograničenjima:} \\ \sum_{g_1=1}^m \hat{v}_{g_1} x_{g_1 0} &= 1, \\ \sum_{f_1=1}^s \hat{u}_{f_1} y_{f_1 j} - \sum_{g_1=1}^m \hat{v}_{g_1} x_{g_1 j} &\leq 0, j = 1, \dots, n \\ \sum_{f_1 \in A_{f_K}^{(K)}} \hat{u}_{f_1} &= u_{f_K}, f_1 = 1, \dots, s, f_K = 1, \dots, s^{(K)} \\ \sum_{g_1 \in B_{g_L}^{(L)}} \hat{v}_{g_1} &= v_{g_L}, g_1 = 1, \dots, m, g_L = 1, \dots, m^{(L)} \\ \frac{\sum_{f_1 \in A_{f_k}^{(k)}} \hat{u}_{f_1}}{\sum_{f_1 \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} \hat{u}_{f_1}} &= p_{f_k}^{(k)}, f_k = 1, \dots, s^{(k)}, k = 1, \dots, K - 1, \\ \frac{\sum_{g_1 \in B_{g_l}^{(l)}} \hat{v}_{g_1}}{\sum_{g_1 \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} \hat{v}_{g_1}} &= g_{g_l}^{(l)}, g_l = 1, \dots, m^{(l)}, l = 1, \dots, L - 1 \\ u_{f_K}, v_{g_L} &\geq \zeta, f_K = 1, \dots, s^{(K)}, g_L = 1, \dots, m^{(L)} \\ p_{f_k}^{(k)} &\geq \zeta, f_k = 1, \dots, s^{(k)}, k = 1, \dots, K - 1 \\ g_{g_l}^{(l)} &\geq \zeta, g_l = 1, \dots, m^{(l)}, l = 1, \dots, L - 1 \\ \hat{u}_{f_1}, \hat{v}_{g_1} &\geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon, f_1 = 1, \dots, s, g_1 = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (23)$$

Ovaj *MLDEA II* model u potpunosti odražava hijerarhijsku strukturu indikatora i definiše sve težinske koeficijente u svim kategorijama i na svim nivoima. Autori koji su u svojim istraživanjima koristili *MLDEA* model za kreiranje kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja su Shen et al. (2013a), Bax et al. (2013), Babae et al. (2014; 2021), Bastos et al. (2014), Shen et al. (2018a), Grdinić-Rakonjac et al. (2021b) i dr. Sledeći korak u predloženoj metodologiji je izbor optimalnih pondera efikasnih *DMU*, a koji je opisan u narednom poglavlju.

4.2.2. Izbor optimalnih težinskih koeficijenata

MLDEA, kao i klasična *DEA*, relativnu ocenu efikasnosti svake *DMU* računa bez prethodnog znanja o uticaju pojedinačnih indikatora. Umesto unapred dodeljenih težinskih koeficijenata, *MLDEA* (kao i *DEA*) određuje one vrednosti pondera kojima maksimizira efikasnost *DMU* koju analizira. Iako *MLDEA* donekle to ublažava, dobijeni ponderi mogu biti nerealni, odnosno uticaj nekih promenljivih se može preuveličati dok se uticaj drugih može potceniti (Song et al., 2017). Takođe, veći broj jedinica odlučivanja može biti ocenjeno kao efikasno čime se sprečava njihovo dalje rangiranje.

Jedan od načina za rešavanje navedenih nedostataka jeste ograničavanje vrednosti težinskih koeficijenata. Međutim, kako bi se izbegla subjektivnost, mnogi autori su se bavili matricom unakrsne efikasnosti, kao nadgradnjom *DEA* analize (o ovoj temi je bilo reči u Poglavlju 2.3.2.). Za jednu određenu *DMU*, matrica unakrsne efikasnosti sadrži ocenu

efikasnosti dobijenu od optimalnih pondera za *DMU* koja se analizira ali i ocene efikasnosti dobijene od optimalnih pondera svih ostalih *DMU*. To znači da će model imati onoliko iteracija koliko ima jedinica odlučivanja. Na taj način se dobija n setova optimalnih težinskih koeficijenata za n jedinica odlučivanja, a svaka jedinica odlučivanja će imati $(n - 1)$ vrednosti unakrsnih (*peer*) efikasnosti i jednu vrednost efikasnosti dobijenu samoevaluacijom (koja se nalazi na dijagonali matrice unakrsne efikasnosti). Ovako dobijene efikasnosti obrazuju $n \times n$ matricu unakrsne efikasnosti za sve *DMU* (Tabela 2).

Tabela 2. Matrica unakrsne efikasnosti

DMU	DMU koja se maksimizira				Srednja vrednost unakrsne efikasnosti
	1	2	...	n	
1	E_{11}	E_{12}	...	E_{1n}	$\bar{E}_{1j} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{1j}$
2	E_{21}	E_{22}	...	E_{2n}	$\bar{E}_{2j} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{2j}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	E_{n1}	E_{n2}	...	E_{nn}	$\bar{E}_{nj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{nj}$

Agregirajući sve ocene efikasnosti jedne *DMU* (najčešće srednjom vrednošću) dobija se konačna ocena unakrsne efikasnosti za posmatranu *DMU*. Na ovaj način se eliminišu ekstremni i nerealni ponderi (Falagario et al., 2012; Gutierrez & Ruiz, 2013; Lim et al., 2014). Ovakav pristup može uspostaviti bolji rang među *DMU* u odnosu na klasičnu *DEA* analizu, međutim, na taj način se ne sprečava dodela nerealnih i nultih vrednosti pondera. Takođe, iako neefikasne jedinice odlučivanja imaju jedinstvene optimalne pondere to nije slučaj kod *DMU* ocenjenih kao efikasne. Štaviše, ukoliko se ne postave dodatna ograničenja, efikasne *DMU* imaće više setova optimalnih težinskih koeficijenata (Sexton et al., 1986) a sam konačni izbor zavisiće od softverskog rešenja koje se koristi (Cooper et al., 2007b). Upravo ta nejedinstvenost optimalnog seta pondera dalje utiče na to da je agregacija unakrsnih efikasnosti proizvoljna a dobijena ocena za jednu *DMU* nesigurna i nepouzdana vrednost (Song et al., 2017).

S ciljem da nijedan indikator ne bude zanemaren pri oceni efikasnih *DMU* i kako bi se obezbedilo da su optimalni ponderi efikasnih *DMU* jedinstveni, nakon *MLDEA* modela biće sprovedena procedura koja se sastoji iz dva koraka a koju su predstavili Cooper et al. (2007b). Glavni motiv za implementiranje ove procedure je da se izbegnu nulte vrednosti optimalnih težinskih koeficijenata efikasnih jedinica odlučivanja i da se za jednu efikasnu *DMU* izaberu oni ponderi koji će biti podržani maksimalnim brojem efikasnih *DMU*. Prema tome, dobijeni optimalni težinski koeficijenti, kako navodi Cooper et al. (2007b), imaće najveću moguću podršku iz podataka. Implementiranjem ove procedure izbegava se subjektivnost *a priori* ograničavanja pondera i ne menja se ocena efikasnosti *DMU* koja se analizira (što sa ograničenjem težina nije slučaj). Prema tome, za svaku efikasnu *DMU* se primenjuje postupak opisan u nastavku (opis preuzet iz Cooper et al. (2007b) za jednoslojnu *DEA* analizu):

I. Prvi korak

U prvom koraku se postavlja problem mešovitog celobrojnog linearnog programiranja koji između optimalnih pondera dobijenih za DMU_0 , rešavanjem maksimizacije (1), odnosno u slučaju primene višelojne *DEA* rešavanjem (23), bira onaj set optimalnih pondera koji proizvodi najveći mogući broj efikasnih jedinica odlučivanja:

$$\min I_0 = \sum_{j \in E} I_j \tag{24}$$

sa ograničenjima:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1, \\ -\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + t_j &= 0, j \in E, \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} &= 1, \\ t_j - MI_j &\leq 0, j \in E, \\ I_j &\in \{0,1\}, j \in E, \\ v_i &\geq 0, i = 1, \dots, m, \end{aligned}$$

$$u_r \geq 0, r = 1, \dots, s,$$

$$t_j \geq 0, j \in E,$$

gde M predstavlja broj velike pozitivne vrednosti $M = \sum_{i=1}^m \frac{\max_{j \in E} \{x_{ij}\}}{\min_{j \in E} \{x_{ij}\}}$.

II. Drugi korak

U drugom koraku se od setova težinskih koeficijenata (ako ih ima više) dobijenih u (24), maksimiziranjem najmanje vrednosti virtualnih promenljivih (proizvod težinskog koeficijenta i promenljive), bira onaj optimalni.

$$\max z_0 \tag{25}$$

sa ograničenjima:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1,$$

$$-\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + t_j = 0, j \in E,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1,$$

$$t_j - M I_j \leq 0, j \in E,$$

$$\sum_{j \in E} I_j = I_0^*,$$

$$v_i x_{i0} \geq z_0, i = 1, \dots, m,$$

$$u_r y_{r0} \geq z_0, r = 1, \dots, s,$$

$$I_j \in \{0,1\}, t_j \geq 0, j \in E,$$

$$z_0 \geq 0,$$

$$v_i \geq 0, i = 1, \dots, m,$$

$$u_r \geq 0, r = 1, \dots, s,$$

gde I_0^* predstavlja optimalnu vrednost iz (24). Sva ograničenja iz (24) su zadovoljena i u (25) pa je i rešenje iz (25) u stvari jedno od rešenja iz (24). Od svih mogućih setova pondera iz (24) u drugom koraku bira se ono koje maksimizuje najmanju virtuelnu promenljivu. Dakle, dobijeni ponderi daju ocenu efikasnosti takvu da sve promenljive koje su uzete u obzir, istovremeno maksimiziraju svoje relativne vrednosti. To znači da će, sa tako izabranim setom težinskih koeficijenata, sve promenljive povećati svoj doprinos oceni efikasnosti što je najviše moguće. Važno je napomenuti da je razlog za maksimiziranjem virtuelnih promenljivih umesto apsolutnih vrednosti pondera taj da bi se obezbedilo da vrsta jedinica ulaznih i izlaznih veličina ne utiče na vrednost pondera koji se računaju. Iako se jedinstvenost seta optimalnih težinskih koeficijenata iz (25) ne može teorijski dokazati, prikazana dva dodatna koraka značajno smanjuju mogućnost izbora. Ovako dobijeni setovi pondera (Tabela 3) su poslužili za izračunavanje *peer* efikasnosti ostalih *DMU* iz matrice unakrsne efikasnosti.

Tabela 3. Matrica težinskih koeficijenata

DMU	Težinski koeficijenti ulaznih veličina				Težinski koeficijenti izlaznih veličina			
	v_1	v_2	...	v_i	u_1	u_2	...	u_r
1	v_{11}	v_{21}	...	v_{i1}	u_{11}	u_{21}	...	u_{r1}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
j	v_{1j}	v_{2j}	...	v_{ij}	u_{1j}	u_{2j}	...	u_{rj}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	v_{1n}	v_{2n}	...	v_{in}	u_{1n}	u_{2n}	...	u_{rn}
Srednja vrednost pondera	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{1j}$	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{2j}$...	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{1j}$	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{2j}$...	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{rj}$

4.2.3. Nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti

Sprovođenje višeslojne *DEA* analize i procedure odabira optimalnog seta pondera efikasnih jedinica, omogućava konstruisanje matrice unakrsne efikasnosti sastavljene od pozdanijih vrednosti. Metoda unakrsne efikasnosti (*CE*) razvijena je kao proširenje *DEA* analize koje se može sprovesti u cilju identifikacije efikasnih *DMU* i njihovog međusobnog rangiranja koristeći ocene efikasnosti povezane sa svim jedinicama odlučivanja (*peer* efikasnosti). S obzirom da se pokazalo da efikasnost jedne *DMU* dobijene računanjem srednje vrednosti njenih

unakrsnih efikasnosti nije sasvim pouzdan metod (Anderson et al., 2002; Despotis, 2002; Wu et al., 2009a; 2011b; Wang & Wang, 2013; Song et al., 2017), mnogi autori su se u svojim istraživanjima bavili načinima za nadgradnju matrice unakrsne efikasnosti (Wu et al., 2009a; 2009b; 2011a; 2011b; Wang & Chin, 2010a; 2010b; 2011; Ramon et al., 2011; Wang & Wang, 2013; Podinovski et al., 2016; Song et al., 2017; Lee, 2019; Su & Lu, 2019; Behdani & Darehmiraki, 2019; i drugi). Prema tome, u ovom poglavlju disertacije biće predstavljen novi metod nadgradnje *CEM* koji će za svaku jedinicu odlučivanja dati pouzdanu agregatnu ocenu efikasnosti (uzimajući u obzir *peer* efikasnosti) i uspostaviti potpuni rang među svim jedinicama odlučivanja.

Rassafi et al. (2018) tvrdi da u svakoj analizi bezbednosti (različite vrste) postoji određeni stepen nesigurnosti. Prilikom kreiranja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja najčešći kriterijum za odabir pokazatelja je dostupnost podataka. S obzirom da veliki broj zemalja, naročito nerazvijenih i onih u razvoju, nemaju osmišljene metodologije za prikupljanje podataka i snimanje stanja bezbednosti, donosioci odluka su prinuđeni da koriste dostupne podatke u čiju tačnost nisu potpuno sigurni ili pak podatke do kojih se relativno lako dolazi (npr. sprovođenjem anketa). Neki pokazatelji se mogu prikazati jedino jezičkim promenljivim (na primer pokazatelji o primenjenim preventivnim merama) a, osim toga, subjektivno mišljenje eksperata je često uključeno u proces dodele težinskih koeficijenata i agregacije indikatora u konačnu ocenu. Dalje, prilikom prikupljanja podataka o pokazateljima bezbednosti između različitih zemalja (za isti period vremena), najverovatnije je da će neki podaci nedostajati i da će morati da se izvrši kompenzacija nekom od za to dostupnih metoda. Glavna karakteristika svih prethodno navedenih podataka je da nisu u potpunosti precizni i tačni (Yang et al., 2019) pa se, samim tim, postavlja pitanje pouzdanosti kompozitnog indeksa dobijenog pomoću njih.

Kada se *DEA* analiza sprovodi sa nesigurnim vrednostima ulaznih i/ili izlaznih podataka, nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti se uglavnom zasniva na primeni neke od *MCDM* metoda kao na primer *TOPSIS* (Wu et al., 2011b), *OWA* (Wang & Chin, 2011), itd, a najčešće je primenjivan metod entropije (Wu et al., 2011b; Lee, 2019; Su & Lu, 2019; itd.) ali i *fuzzy* teorije (Chen & Wang, 2016). Liu (2012) i Jiang et al. (2015) su u svojim istraživanjima došli do zaključka da *fuzzy* teorija nije pogodna ukoliko se rukuje podacima koji nisu precizni i tačni, dok Yang et al. (2019) tvrde da je teorija sivih sistema najbolja za obradu objektivne nesigurnosti kojom se odlikuju nepotpuni i netačni podaci. Stoga, u ovom radu se nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti zasniva na primeni sive relacione analize koja predstavlja deo teorije sivih sistema.

4.2.3.1. Siva relaciona analiza

Siva relaciona analiza (*Grey relational analysis, GRA*, u literaturi se može naći i pod nazivom *Grey incidence analysis, GIA*) je deo teorije sivih sistema i zasniva se na merenju tzv. sive relacije (odnosno neizvesne blizine) između različitih promenljivih koje su predstavljene nizovima podataka (Javed & Liu, 2019). Povezanost više različitih nizova podataka određuje se stepenom sličnosti geometrijskih oblika krivih sekvenci (Liu et al., 2015). Drugim rečima, ako je poznato da je ponašanje svakog složenog sistema određeno interakcijama faktora koji na njega utiču, *GRA* predstavlja metod za analizu veličine uticaja pojedinih faktora na taj sistem (Liu et al., 2013), tj. ispituje glavne veze među pokazateljima kako bi se pronašle one koje na njega utiču (Cheng & Ma, 2011). Iako postoji više oblika, najčešće se koriste prvobitni Dengov model sive relacione analize i apsolutna siva relaciona analiza (*Absolute grey relational analysis, Absolute GRA*) koju je predložio Liu et al. (2006). *GRA* je multidisciplinarni alat primenjiv na malom uzorku podataka (moguće je efikasno sprevesti *GRA* analizu na niz od svega 3 podatka (Javed et al., 2019) jer ne uzima u obzir statističku distribuciju podataka (Liu et al., 2019)).

GRA se u literaturi uglavnom koristi kao metod za višekriterijumsko odlučivanje u slučaju nesigurnih i nepreciznih podataka, što je slučaj i pri primeni u oblasti saobraćaja. Među prvim

autorima iz oblasti bezbednosti saobraćaja koji su prepoznali snagu i efikasnost sive relacione analize su autori Lu & Wevers (2007) i Nie & Shao (2007). Lu & Wevers (2007) su u svom radu vršili ocenu mogućih scenarija pri primeni preventivnih mera koje je trebalo implementirati u cilju povećanja nivoa bezbednosti saobraćaja dok su Nie & Shao (2007) ocenjivali bezbednost mreže autoputeva. Osim pomenutih, Xi et al. (2009) su koristeći *GRA* analizirali glavne faktore koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda; Ma et al. (2011) su sivu relacionu analizu, u kombinaciji sa Delfi metodom i *fuzzy* teorijom, koristili za ocenu bezbednosti puteva kategorisanih na regionalne puteve, gradske ulice i autoputeve i to implementirajući subjektivne ocene eksperata; Wang et al. (2012) su takođe koristili *GRA* za procenu uticaja pojedinih faktora na nastanak nezgoda; Cao et al. (2015) su primenili sivu relacionu analizu u cilju ocene stanja bezbednosti na regionalnim putevima u Kini; René et al. (2016) su u svom radu vršili predviđanje očekivanog broja saobraćajnih nezgoda i na osnovu rezultata određivali polja bezbednosti na koja bi trebalo preventivnim merama delovati. Liu et al. (2017) su takođe integrisali *GRA* i *fuzzy* teoriju sa ciljem dobijanja ocene upravljanja rizikom od nastanka saobraćajnih nezgoda, a Grdinić-Rakonjac et al. (2021a) su koristili *GRA* za izračunavanje težinskih koeficijenata prilikom kreiranja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja. U ovom disertacijskom istraživanju, *GRA* je integrisana sa višeslojnom *DEA* analizom za konačnu agregaciju efikasnosti u matrici unakrsnih efikasnosti.

Matematički prikaz sive relacione analize koji je dat u nastavku, preuzet je iz Guo (2004), Liu & Lin (2010) i Liu et al. (2016). U prvom koraku *GRA* postupka je potrebno obraditi vrednosti od kojih je sastavljen sistem koji se analizira kako bi se dostupni podaci transformisali u relevantne nedimenzionalne vrednosti približno jednakih veličina. U ovom istraživanju se primena sive relacione analize vrši nad matricom unakrsne efikasnosti (Tabela 2) gde $E_i = (E_i(1), E_i(2), \dots, E_i(j), \dots, E_i(n))$ predstavlja niz efikasnosti za DMU_i dobijenih na osnovu optimalnih težinskih koeficijenata svih ostalih *DMU*. Obrada vrednosti matrice unakrsne efikasnosti se vrši linearnom transformacijom tipa max/min za prihodni kriterijum:

$$h_i(j) = \frac{E_i(j) - \min_{j=1}^n E_i(j)}{\max_{j=1}^n E_i(j) - \min_{j=1}^n E_i(j)} \quad (26)$$

pa će transformisana matrica unakrsne efikasnosti imati oblik:

$$H = \begin{bmatrix} h_1(1) & h_1(2) & \dots & h_1(n) \\ h_2(1) & h_2(2) & \dots & h_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_n(1) & h_n(2) & \dots & h_n(n) \end{bmatrix} \quad (27)$$

Nakon konstruisanja matrice H neophodno je odrediti niz sastavljen od referentnih vrednosti. Referentne vrednosti predstavljaju virtuelne idealne vrednosti i čine ga najveće (ili najmanje, u zavisnosti od cilja istraživanja) vrednosti iz matrice H :

$$H_0 = (h_0(1), h_0(2), \dots, h_0(n)) \quad (28)$$

S obzirom da matrica H predstavlja transformisanu matricu unakrsne efikasnosti, referentni set će biti niz vrednosti koje su jednake jedinici:

$$H_0 = (1, 1, \dots, 1) \quad (29)$$

Sledeći korak je proračun sivog relacionog koeficijenta koji predstavlja meru udaljenosti niza transformisanih efikasnosti od referentnog seta. Zbog lakšeg proračuna, moguće je prvo konstruisati matricu apsolutnih vrednosti:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(n) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0n}(1) & \Delta_{0n}(2) & \dots & \Delta_{0n}(n) \end{bmatrix} \quad (30)$$

pri čemu je $\Delta_{0i}(j) = |h_i(j) - h_0(j)|$, pa se sivi relacioni koeficijent izračunava prema formuli:

$$\zeta_{oi}(j) = \frac{\Delta_{min} + \rho \cdot \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(j) + \rho \cdot \Delta_{max}} \quad (31)$$

gde ρ predstavlja diskriminacioni koeficijent čija je vrednost iz intervala $[0,1]$, a najčešće $\rho = 0,5$,

$$\Delta_{max} = \max_{i=1}^n \max_{j=1}^n \Delta_{oi}(j) \text{ i}$$

$$\Delta_{min} = \min_{i=1}^n \min_{j=1}^n \Delta_{oi}(j).$$

Za svaku *DMU*, sivi relacioni stepen se zatim računa pomoću formule:

$$\gamma_{oi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \zeta_{oi}(j) \quad (32)$$

odnosno:

$$\gamma_{oi} = \sum_{j=1}^n w(j) \zeta_{oi}(j) \quad (33)$$

gde $w(j)$ predstavlja težinski koeficijent i $\sum_{j=1}^n w(j) = 1$. Postojeći pristupi za procenu unakrsne efikasnosti retko uzimaju u obzir značaj unakrsnih efikasnosti i jednostavno ih agregiraju podrazumevajući ih jednakima. To praktično znači da se setovi optimalnih pondera svih jedinica odlučivanja tretiraju jednako. Određeni autori su se u svojim istraživanjima bavili pomenutim problemom a neki od njih su Wu et al. (2008; 2009a; 2009b; 2010; 2011a; 2012b), Wang & Chin (2011), Zerafat-Angiz et al. (2013), Yang et al. (2013), Sun et al. (2018), Lee (2019), Su & Lu (2019) i drugi, pri čemu je najčešće korišćen metod entropije. Da bi se uzela u obzir relativna važnost unakrsnih efikasnosti (odnosno setova optimalnih pondera) u njihovom agregiranju, a u cilju sveobuhvatnijeg pristupa, ovde je predložen *FANMA* metod.

4.2.3.2. *FANMA* dodela težinskih koeficijenata

Metod za dodelu težinskih koeficijenata *FANMA* koju su razvili Fan et al. (1996) i Ma et al. (1999), predstavlja jedan od najkorišćenijih metoda ponderisanja kada se želi izbeći subjektivnost u procesu (uz *Criteria Importance Through Intercriteria Correlation*, *CRITIC* i metodu entropije). Isto tako, u prethodnom poglavlju je rečeno da je entropija najčešće korišćen metod za ponderisanje pri agregaciji matrice unakrsne efikasnosti. Međutim, nedostatak prilikom korišćenja entropije je što podrazumeva veliki broj kriterijuma (u smislu veličine uzorka) kako bi bila efikasno sprovedena, dok kod *FANMA* metoda to nije slučaj (Srđević et al., 2016). Ponderisanje *FANMA* metodom zasniva se na principu određivanja rastojanja od idealne tačke (Milićević & Župac, 2012). Matematički prikaz metode se sastoji iz nekoliko koraka i prikazan je u nastavku (prikaz metoda preuzet iz Srđević, 2005).

Prvi korak *FANMA* dodele težinskih koeficijenata je transformacija vrednosti unakrsne efikasnosti. Kao i kod primene sive relacione analize i ovde se vrši transformacija tipa max/min za prihodni kriterijum pa se dobijena matrica koristi kao polazna pri primeni *FANMA* metoda. Tako obrađena matrica unakrsnih efikasnosti se dalje transformiše u otežanu matricu $F = [f_{ij}]_{n \times n}$ pri čemu je $f_{ij} = w_j h_{ij}$. Zatim se definiše virtuelno idealno rešenje, odnosno „veštačka alternativa“ $A^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*\}$ gde je:

$$f_j^* = \max\{f_{1j}, f_{2j}, \dots, f_{nj}\} = \max\{w_j h_{1j}, w_j h_{2j}, \dots, w_j h_{nj}\} = w_j h_j^* \quad (34)$$

pri čemu $h_j^* = \max\{h_{1j}, h_{2j}, \dots, h_{nj}\}$ predstavlja idealnu vrednost efikasnosti za svaku *DMU* koja se analizira (odnosno idealnu vrednost efikasnosti za svaki set optimalnih pondera) i u slučaju transformisane matrice unakrsnih efikasnosti, idealne vrednosti su jednake jedinici tj. $h_j^* = \{1, 1, \dots, 1\}$. Kao mera rastojanja niza sastavljenog od transformisanih vrednosti unakrsnih efikasnosti za svaku *DMU* u odnosu na niz koji je sastavljen od idealnih vrednosti, koristi se kvadratno rastojanje:

$$k_i = \sum_{j=1}^n (f_j^* - f_{ij})^2 = \sum_{j=1}^n w_j^2 (h_j^* - h_{ij})^2 \quad (35)$$

Kako bi se odredio težinski koeficijent w_j neophodno je definisati višekriterijumski model optimizacije:

$$\min K^* = \{k_1, k_2, \dots, k_n\} \quad (36)$$

sa ograničenjima:

$$e^T w = 1, w \geq 0,$$

pri čemu je $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ i $e = (1, 1, \dots, 1)^T$. Kada se izvrši skalarizacija vektorske funkcije, rešava se jednostavniji kriterijumski model:

$$\min \sum_{i=1}^m k_i = w^T D w \quad (37)$$

sa ograničenjima:

$$e^T w = 1, w \geq 0$$

pri čemu je D dijagonalna matrica sa elementima $d_{jj} = \sum_{i=1}^n (h_j^* - h_{ij})^2$ koja je invertibilna u slučaju da za bilo koje j postoji $\sum_{i=1}^n (h_j^* - h_{ij})^2 > 0$, tj. ako postoji bar jedno $h_j^* \neq h_{ij}$ za bilo koje i i j . Kako bi se izvršila minimizacija u (37), može se zanemariti ograničenje $w \geq 0$ i uvesti Lagranžijan:

$$L = w^T D w + 2\lambda(e^T w - 1) \quad (38)$$

gde λ predstavlja Lagranžov multiplikator. Nakon uvođenja Lagranžijana, pristupa se diferenciranju prvo po w a zatim i po λ i dobijaju se:

$$D w + \lambda e = 0 \text{ i } e^T w = 1 \quad (39)$$

čijim se rešavanjem dobija:

$$w^* = \frac{D^{-1} e}{e^T D^{-1} e} \text{ i } \lambda^* = \frac{-1}{e^T D^{-1} e} \quad (40)$$

Za matricu $D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & d_{22} & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$ inverzna matrica je:

$$D^{-1} = \frac{1}{\prod_{j=1}^n d_{jj}} \begin{bmatrix} \prod_{p=1(p \neq 1)}^n d_{pp} & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \prod_{p=1(p \neq 2)}^n d_{pp} & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \prod_{p=1(p \neq n)}^n d_{pp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_{11}} & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \frac{1}{d_{22}} & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \frac{1}{d_{nn}} \end{bmatrix}$$

pa će traženi vektor biti:

$$w^* = \left(\frac{\frac{1}{d_{11}}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{jj}}}, \dots, \frac{\frac{1}{d_{nn}}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{jj}}} \right)^T \quad (41)$$

odnosno:

$$w_j^* = \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n (h_j^* - h_{ij})^2 \right] \left[\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n (h_j^* - h_{ij})^2} \right]} \quad (42)$$

Potrebno je napomenuti da vrednost zbira donijenih težinskih koeficijenata mora biti jedan pa će biti:

$$W_j^* = \frac{w_j^*}{\sum_{j=1}^m w_j^*} \quad (43)$$

Kada se odrede *FANMA* težinski koeficijenti koji predstavljaju uticaj svakog seta *DEA* pondera na konačnu agregatnu ocenu, računajući sivi relacioni stepen (formula 33) dobija se konačna pouzdana ocena bezbednosti na putevima. Pomoću ovako dobijene ocene uspostavlja se potpuni rang između analiziranih teritorija.

4.3. Metode benčmarkinga

Prilikom korišćenja *DEA* metode, teritorije koje su efikasne predstavljaju uzor teritorijama koje su neefikasne. Međutim, nakon agregacije vrednosti iz matrice unakrsnih efikasnosti mnoge efikasne teritorije mogu izgubiti svoj uzorni status. Takođe, među teritorijama sa efikasnošću jednakom jedinici ne mogu se definisati uzori i najbolje prakse. Upoređivanje *iDEA* indeksa bezbednosti omogućava da se sve teritorije tretiraju kao da pripadaju jednoj grupi, iako, u pogledu benčmarkinga, nije neophodno upoređivati veći broj teritorija već je važno da se identifikuje teritorija koja će biti uzor.

Kada je reč o konkretnim akcionim planovima, sprovođenje benčmarkinga je pouzdanije ukoliko neka teritorija kao uzor najbolje prakse ima teritoriju u sličnoj situaciji (Hermans et al., 2008a). Grupisanje teritorija i utvrđivanje onih najboljih može se razlikovati u zavisnosti od korišćenog metoda. Da bi se dobili pouzdaniji rezultati grupisanja ali i sprovela dublja analiza, najbolje je kombinovati nekoliko metoda. U ovoj doktorskoj disertaciji teritorije su u odnosu na *iDEA* indeks grupisane koristeći regresionu i klaster analizu čiji su koraci opisani u nastavku. Prednost korišćenja ovih metoda prilikom utvrđivanja najboljih praksi u oblasti bezbednosti saobraća je što se može steći uvid u prilično homogene i slične teritorije, što predstavlja dobru osnovu za razmenu pozitivnih iskustava.

4.3.1. Regresiona analiza

Za poređenje teritorija na osnovu izračunatog indeksa i definisanje uzora, primenjena je regresiona analiza. Kao prvi korak vrši se distribucija *iDEA* indeksa za svaku analiziranu teritoriju. Sve teritorije se rasporede prema *iDEA* indeksu i to od teritorije sa najmanjom ocenom do teritorije sa najvećom ocenom. Zatim se odrede frekvence i kumulativne frekvence $f \downarrow$ i izračunaju percentili P_i i odgovarajući probit Y_i .

$$\begin{aligned} f \downarrow_i &= i \\ P_i &= \frac{f \downarrow_i}{m}, i = 1, 2, \dots, m - 1 \\ P_m &= \left(1 - \frac{1}{4m}\right) \cdot 100\% \end{aligned} \quad (44)$$

Zatim se sprovodi regresiona analiza posmatrajući *iDEA* indeks kao zavisnu promenljivu i probit Y kao nezavisnu promenljivu veličinu pri čemu koeficijenti a i b predstavljaju regresione parametre:

$$iDEA = a + bY \quad (45)$$

4.3.2. Klaster analiza

Klaster analiza predstavlja multivarijacionu tehniku čiji je primarni cilj klasifikovanje grupe podataka u odnosu na njihovu strukturu. Vršiti se tako što se sprovodi poređenje svih slučajnih promenljivih po unapred definisanom pravilu i formiraju konačne grupe, tzv. klasteri koji sadrže objekte koji su međusobno veoma slični, dok su sami klasteri međusobno različiti (Anderberg, 1973). U hijerarhijskoj klaster analizi, podaci se klasifikuju u nekoliko koraka i to odozgo ka dole (prvo se dele u manji broj grupa sa većim brojem podataka, zatim se te grupe dalje dele na više grupa i tako dalje dok se ne dobiju krajnje) i obrnuto (prvo se svi podaci posmatraju posebno pa se grupišu u manje grupe, koje se korak po korak dalje grupišu). Konačni broj grupa nije unapred određen a istraživač može odabrati u kom trenutku će da završi grupisanje. Prema načinu na koji se vrši grupisanje, odnosno prema načinu računanja udaljenosti između objekata, postoji veći broj vrsta klaster analize. Za potrebe ove disertacije primenjena je *Ward*-metoda u kojoj se vrši poređenje aritmetičke sredine svih vrednosti, a zatim i Euklidova razdaljina između njih pri čemu se u jedan klaster spajaju oni objekti kojima je zajednička suma odstupanja najmanja.

4.3.3. Validacija grupisanja

Nakon sprovođenja regresione i klaster analize vrši se testiranje značajnosti grupisanih teritorija. Rezultati dobijeni Levenovim testom i ANOVA testiranjem određuju da li je grupisanje teritorija smisleno i prihvatljivo za donosiocce odluka i eksperte u oblasti bezbednosti saobraćaja.

5. PRIMENA IDEJA INDEKSA ZA OCENU STANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Efikasnost razvijenog integrisanog indeksa za ocenu bezbednosti saobraćaja je verifikovan praktičnom primenom na studiji slučaja, a što će biti prikazano u okviru ovog poglavlja. Na početku je dat prikaz opšteg stanja bezbednosti u Crnoj Gori, a nakon toga, u svakom od podpoglavlja prikazan je po jedan domen (čovjek, vozilo, infrastruktura, konačni ishodi) i njima pripadajući indikatori koji su korišćeni za opisivanje domena. Na kraju opisa svakog od indikatora, data je tabela normalizovanih vrednosti koja predstavlja ulazni podatak u naredni korak metodologije, primenu višeslojne analize obavljanja podataka.

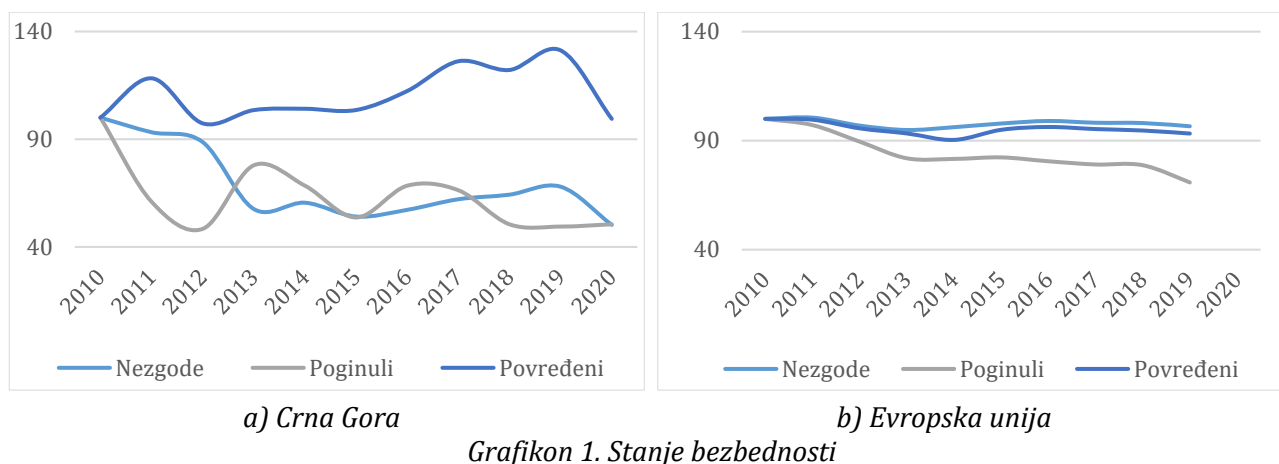
5.1. Opšte karakteristike i pokazatelji bezbednosti u Crnoj Gori

Crna Gora (Montenegro) je mala primorska zemlja koja se nalazi u jugoistočnoj Evropi i kao zemlja u razvoju, teži da postane članica Evropske unije. U svom sastavu ima 24 gradske opštine, od kojih su tri formirane poslednjih godina (2013, 2014. i 2018.). S obzirom da administrativno nisu samostalne, u ovom radu se u studiji slučaja zadržala podela na 21 opštinu i to: Andrijevica, Bar, Berane, Bijelo Polje, Budva, Cetinje, Danilovgrad, Herceg Novi, Kolašin, Kotor, Mojkovac, Nikšić, Plav, Pljevlja, Plužine, Podgorica, Rožaje, Šavnik, Tivat, Ulcinj i Žabljak.

Crna Gora je turistička zemlja gde se oko 75% putničkog transporta obavlja drumskim prevozom (Pajković & Grdinić, 2014b). Još uvek nema izgrađen auto-put, dok je dužina postojeće putne mreže na nivou regionalnog proseka (500 km/1000 km²) od čega je oko 90% puteva ocenjeno kao visokorizično (Pajković & Grdinić, 2014c). Stepem motorizacije je umeren i u nivou sa evropskim prosekom (Antić et al., 2020) sa tendencijom rasta poslednjih godina (Grdinić-Rakonjac et al. 2020). Uprkos tome što Crna Gora pokušava da ispuni zahteve EU donoseći iste ili slične strategije u cilju smanjenja broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica⁵, svi pokazatelji bezbednosti na putevima u Crnoj Gori povećani su tokom prethodnih deset godina a stanje bezbednosti saobraćaja se uglavnom opisuje kao loše (Grdinić & Pajković, 2016; Grdinić & Antić, 2017; Antić et al., 2020). Trend promene broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica u Crnoj Gori (MUP) i EU (OECD) prikazan je na Grafikonu 1.

Kako bi se stekao uvid u karakteristike opština koje su analizirane, u Prilogu B, u Tabelama B1–B5 su dati osnovni opisni podaci za svaku opštinu. Važno je napomenuti da podaci koji su korišćeni u ovoj disertaciji (osim podataka o ponašanju, percepciji i sezonalnosti) su dostupni u relevantnim bazama podataka Ministarstva unutrašnjih poslova Crne Gore i Zavoda za statistiku Monstat. Svi prikazani podaci, ukoliko nije posebno naglašeno, predstavljaju prosek za period od 2017. do 2019. godine.

⁵Strategija poboljšanja bezbednosti u drumskom saobraćaju za period 2010–2019 i Akcioni plan za implementaciju strategije poboljšanja bezbednosti u drumskom saobraćaju (2011) sa primarnim ciljem smanjivanja broja poginulih u saobraćajnim nezgodama za 50% i povređenih za 30% (u odnosu na 2007) do 2019.



Grafikon 1. Stanje bezbednosti

5.2. Indikatori bezbednosti u Crnoj Gori

5.2.1. Čovek

Mere ponašanja vozača i stavova učesnika u saobraćaju o tome da li navedena ponašanja utiču (i u kojoj meri) na stanje bezbednosti, predstavljaju prvi set ulaznih podataka koji pripadaju domenu „čovek“. Prvo će biti prikazana analiza i statistička obrada prikupljenih podataka kako bi se uvidelo stanje percepcije i ponašanja na posmatranom području, a zatim će prikupljeni podaci biti obrađeni teorijom sivih brojeva kako bi se nesigurnost koja se ogleda u nepreciznosti lingvističkih odgovora svela na najmanju moguću meru.

5.2.1.1. Istraživanje percepcije u Crnoj Gori

Kada je reč o bezbednosti saobraćaja veliki naponi se ulažu kako bi se prikazalo psihološko razumevanje ponašanja vozača i percipiranog rizika. Mišljenja i navike različitih grupa učesnika u saobraćaju predstavljaju izvor relevantnih informacija jer otkrivaju karakteristike u vezi sa mobilnošću, njihovih odnosa sa drugim korisnicima, iskustava i zabrinutosti koje se tiču bezbednosti. Mnoga istraživanja se vrše s ciljem praćenja stavova javnosti o nizu pitanja koja se odnose na bezbednost na putevima a neka od njih su ESRA, SARTRE, Galup, itd.

Istraživanje percepcije u ovoj disertaciji se oslanja na istraživanje pod nazivom „*Road safety – Analytical report, RSAR*“ koje je sprovedla organizacija Galup (Gallup organization, 2010) u cilju sticanja što boljeg uvida u sledeće:

- ✓ koje faktore građani Evropske unije smatraju uticajnim na stanje bezbednosti saobraćaja,
- ✓ koje su to oblasti bezbednosti na putevima koje bi građani želeli da vlasti unaprede a u vezi kojih oblasti je već urađeno dovoljno,
- ✓ kojim merama bi građani dali prioritet u sprovođenju.

RSAR upitnik iz navedenog istraživanja je korišćen za prikupljanje podataka o percepciji u Crnoj Gori. Istraživanje je vršeno u toku 2014. i 2015. godine nasumičnim anketiranjem opšte odrasle populacije na lokacijama sa visokom frekventnošću posetilaca (železničke i autobuske stanice, tržni centri, šetališta itd.). Kontrolne promenljive uzorka su pol (muškarci, žene), period posedovanja vozačke dozvole (bez vozačke dozvole, do 2 godine, 2 do 5 godina, više od 5 godina) i učestalost vožnje (svakodnevno, 1 do 3 puta nedeljno, 1 do 3 puta mesečno, manje od 1 mesečno). Prema dužini posedovanja vozačke dozvole vozači su dalje podeljeni u dve kategorije i to: kada je u pitanju ceo uzorak, grupe čine vozači do 5 i više od 5 godina iskustva, a kada su u pitanju mladi, grupe čine vozači do 2 i više od 2 godina iskustva. Za statističku obradu prikupljenih podataka korišćene su metode deskriptivne statistike, parametarski i neparametarski testovi i korelacija između promenljivih. Granica statističke značajnosti je postavljena na 5%, odnosno sve vrednosti $p < 0,05$ smatraju se statistički značajne.

U cilju merenja stavova vezanih za opšti nivo bezbednost saobraćaja, ispitanici su stanje bezbednosti na putevima u Crnoj Gori procenjivali birajući jedan od četiri ponuđena odgovora: bezbedno, relativno bezbedno, relativno nebezbedno i nebezbedno. Dalje, svi učesnici su rangirali faktore koji utiču na bezbednost saobraćaja na način što je rang (ocena) 1 dodeljen faktoru za koji se smatra da ima veoma veliki uticaj, a faktoru za koji se smatra da ima veoma mali uticaj je dodeljen rang 5. Ista skala je korišćena i za rangiranje (ocenu) poboljšanja bezbednosti na putevima koja bi trebalo sprovesti, dok su „da“ i „ne“ odgovori bili ponuđeni kada je trebalo izraziti spremnost za prihvatanje određenih mera koje se tiču mladih vozača. Opis uzorka prikazan je u Tabeli 4.

Tabela 4. Deskriptivna tabela uzorka za istraživanje percepcije

Promenljiva		≤24 godine		Ukupno	
		N	%	N	%
Pol	Muškarci	133	(78,24)	246	(75,23)
	Žene	37	(21,76)	81	(24,77)
		170	(100)	327	(100)
Posedovanje vozačke dozvole	Ne	32	(18,82)	47	(14,37)
	Da	138	(81,17)	280	(85,63)
	≤2 godine	46	(27,06)	52	(15,90)
	2-5 godina	66	(38,82)	99	(30,28)
	>5 godina	26	(15,29)	129	(39,45)
		170	(100)	327	(100)
Učestalost vožnje	Svakodnevno	76	(55,07)	156	(55,71)
	1-3 puta nedeljno	20	(14,49)	37	(13,21)
	1-3 puta mesečno	26	(18,84)	41	(14,64)
	Manje od 1 nedeljno	16	(11,59)	46	(16,43)
		138	(100)	280	(100)

Nakon izostavljanja nepotpunih anketnih obrazaca, konačni uzorak broji 327 ispitanika od kojih je 25% ženskog i 75% muškog pola prosečne starosti 26 godina ($M = 26,54, SD = 6,75$). Većina ispitanika (85,63%) su vozači od kojih je 18,57% posedovalo vozačku dozvolu manje od 2 godine, 35,36% je posedovalo vozačku dozvolu između 2 i 5 godina, a 46,07% su vozači sa preko 5 godina vozačkog staža. Više od polovine vozača (55%) je prijavilo da vozi svakog dana pri čemu je statistički značajna razlika učestalosti vožnje zabeležena jedino prema iskustvu ($p = 0,000, \chi^2 = 22,74$).

5.2.1.1.1. Statistička obrada prikupljenih podataka

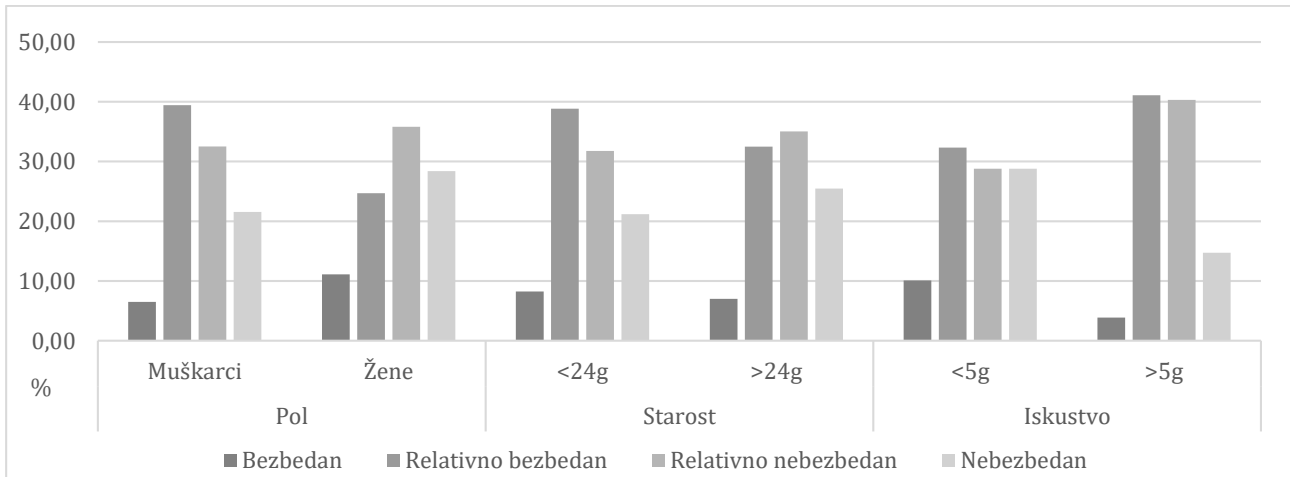
U ovom delu disertacije će biti prikazani rezultati ankete o istraživanju percepcije u Crnoj Gori. Analizirani su odgovori ispitanika podeljenih u kategorije u odnosu na pol (muškarci i žene), starost (do 24 godine starosti i stariji) i iskustvo (posedovanje vozačke dozvole do 5 godina i duže). Dodatni akcenat u analizi stavljen je na mlade vozače kao posebno ranjive kategorije učesnika u saobraćaju. U nastavku će analiza rezultata zbog preglednosti biti podeljena u tri dela.

I. Opšta percepcija o bezbednosti na putevima

Kako bi se dobile bliže informacije o percepciji bezbednosti, ispitanici su prvo ocenjivali opšte stanje bezbednosti saobraćaja, a rezultati su prikazani u Tabeli 5 i na Grafikonu 2. Većina ispitanika (35,78%) smatra da je saobraćaj u Crnoj Gori relativno bezbedan, međutim više od polovine anketiranih (56,57%) ima uglavnom negativno mišljenje o stanju bezbednosti na putevima. Odgovori ispitanika se razlikuju u odnosu na kategorije ali jedina statistički značajna razlika u odgovorima je u zavisnosti od dužine posedovanja vozačke dozvole i kada se analizira ceo uzorak ($p = 0,002, \chi^2 = 15,39$) i kada se analiziraju mladi vozači ($p = 0,007, \chi^2 = 12,15$).

Tabela 5. Percepcija opšteg stanja bezbednosti

	N	%	Pol		Starost		Iskustvo	
			p	χ^2	p	χ^2	p	χ^2
Bezbedan	25	7,65	,078	6,82	,575	1,99	,002	15,39
Relativno bezbedan	117	35,78						
Relativno nebezbedan	109	33,33						
Nebezbedan	76	23,24						



Grafikon 2. Percepcija opšteg stanja bezbednosti prema kategorijama ispitanika

II. Percepcija o faktorima rizika

Ispitanici su u sledećem delu ankete vršili ocenjivanje, odnosno rangiranje određenih faktora rizika i na taj način iskazali svoj stav o faktorima za koje smatraju da imaju negativni uticaj na stanje bezbednosti, odnosno koja ponašanja vozača smatraju više ili manje rizičnim. Faktori su ocenjivani pomoću Likert-skale ocenama od 1 do 5, gde 1 predstavlja veoma veliki uticaj a 5 predstavlja veoma mali uticaj. U Tabeli 6 je prikazano procentualno učešće pojedinih odgovora na celom uzorku (u Prilogu C u Tabeli C1 je prikazano procentualno učešće odgovora prema svim kategorijama ispitanika), dok su na Grafikonu 3 i 4 prikazane ukupne srednje ocene faktora za ceo uzorak i po kategorijama, respektivno.

Rezultati pokazuju da se od pet analiziranih faktora, vožnja pod dejstvom alkohola smatra najrizičnijim ponašanjem vozača pri čemu statistički značajna razlika postoji u odnosu na iskustvo vozača ($p = 0,023$) i u odnosu na pol ($p = 0,035$) kada su u pitanju mlađi ispitanici. Vozači koji poseduju vozačku dozvolu duže od 5 godina imaju stroži stav po pitanju vožnje pod uticajem alkohola ocenivši ga srednjom ocenom $M = 1,91$ ($SD = 1,29$) u odnosu na mlade vozače koji su ovo ponašanje ocenili srednjom ocenom $M = 2,26$ ($SD = 1,42$). Takođe, žene mlađe od 24 godine su imale rigorozniji stav ($M = 1,86$, $SD = 0,95$) po ovom pitanju od muškaraca iste starosne grupe ($M = 2,29$, $SD = 1,45$).

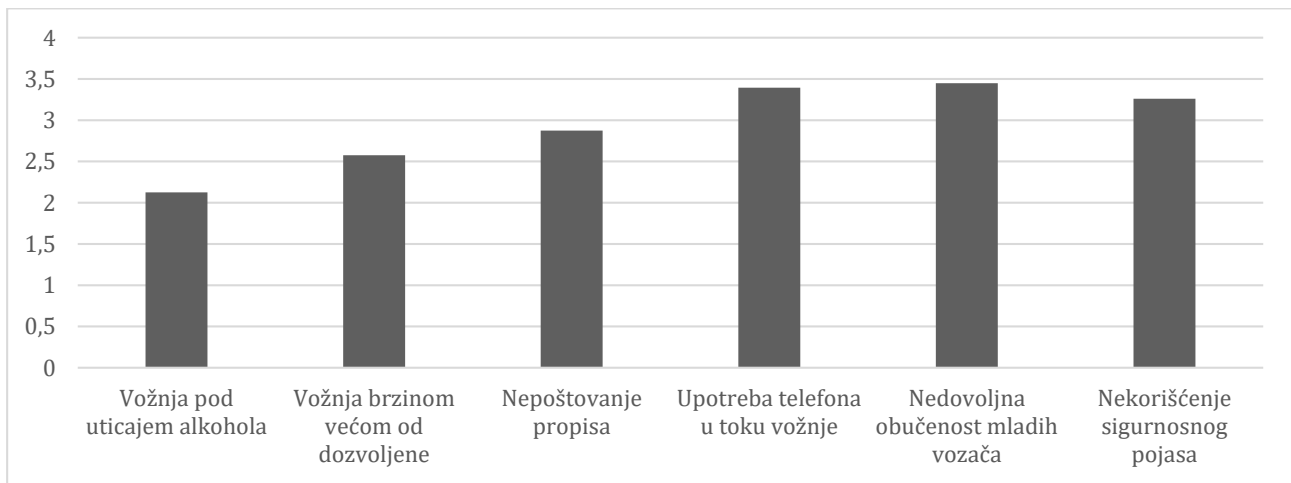
Sledeći faktori koji po mišljenju većine ispitanika predstavljaju ponašanja koja imaju negativni uticaj na stanje bezbednosti su vožnja brzinom većom od dozvoljene, nepoštovanje saobraćajnih propisa i nekorišćenje sigurnosnog pojasa. Kod navedenih faktora nisu zabeležene statistički značajne razlike u odgovorima u zavisnosti od kontrolnih promenljivih ($p > 0,05$ za sve kategorije). Kao najmanje rizična ponašanja u Crnoj Gori od analiziranih smatraju se upotreba telefona u toku vožnje i nedovoljna obučanost mladih vozača. Što se tiče upotrebe telefona u toku vožnje, statistički značajne razlike su zabeležene kod vozača koji imaju različito iskustvo i to na celom uzorku ($p = 0,018$) ali i među mladim vozačima ($p = 0,039$).

Iznenadujuća činjenica je da vozači koji poseduju vozačku dozvolu manje od 5 godina imaju rigorozniji stav po pitanju korišćenja telefona u toku vožnje ($M = 3,12$, $SD = 1,40$) od starijih vozača ($M = 3,48$, $SD = 1,32$), dok su među mladim vozačima stroži bili oni sa više

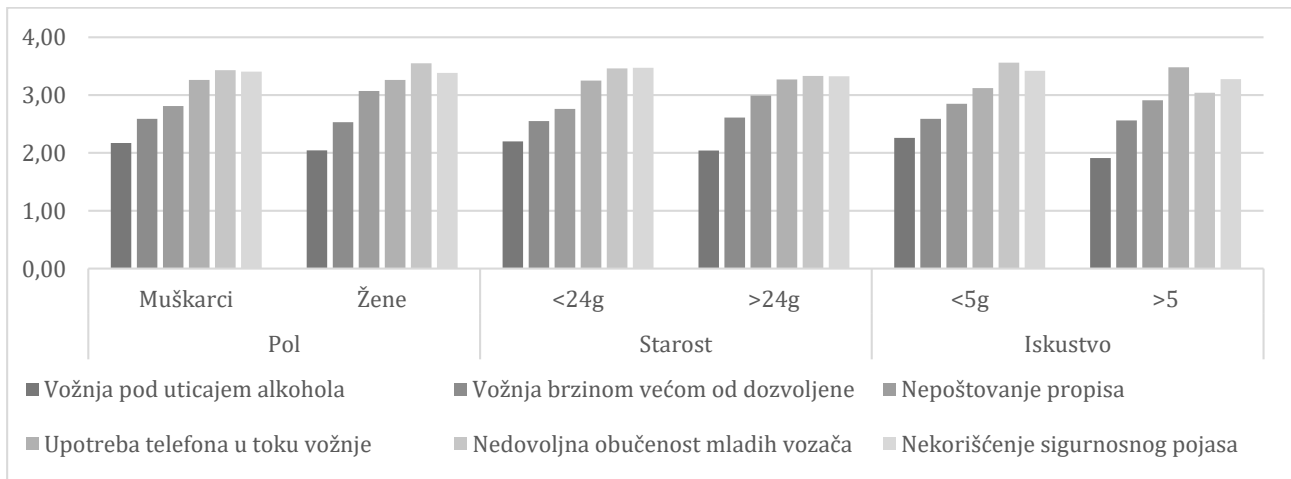
iskustva ($M = 3,04$, $SD = 1,48$) u poređenju sa mladim vozačima sa manje od 2 godine iskustva ($M = 3,49$, $SD = 1,31$).

Tabela 6. Percepcija izabranih faktora bezbednosti

	1	2	3	4	5	M	SD	Pol	Starost	Iskustvo
								P(T<=t) two-tail	P(T<=t) two-tail	P(T<=t) two-tail
Vožnja pod uticajem alkohola	48,93	18,96	13,76	7,34	11,01	2,13	0,08	,310	,310	,023
Vožnja brzinom većom od dozvoljene	19,57	39,45	15,90	14,07	11,01	2,57	0,07	,720	,677	,847
Nepoštovanje propisa	16,82	15,60	38,84	20,80	7,95	2,87	0,06	,082	,073	,609
Upotreba telefona u toku vožnje	15,29	17,43	15,60	29,36	22,32	3,40	0,08	,996	,861	,018
Nedovoljna obučenost mladih vozača	12,84	10,09	26,61	20,18	30,28	3,45	0,13	,730	,651	,096
Nekorišćenje sigurnosnog pojasa	13,46	10,70	26,91	20,18	28,75	3,26	0,08	,890	,332	,354



Grafikon 3. Srednja vrednost ocene svakog faktora



Grafikon 4. Srednja vrednost ocene svih faktora prema kategorijama ispitanika

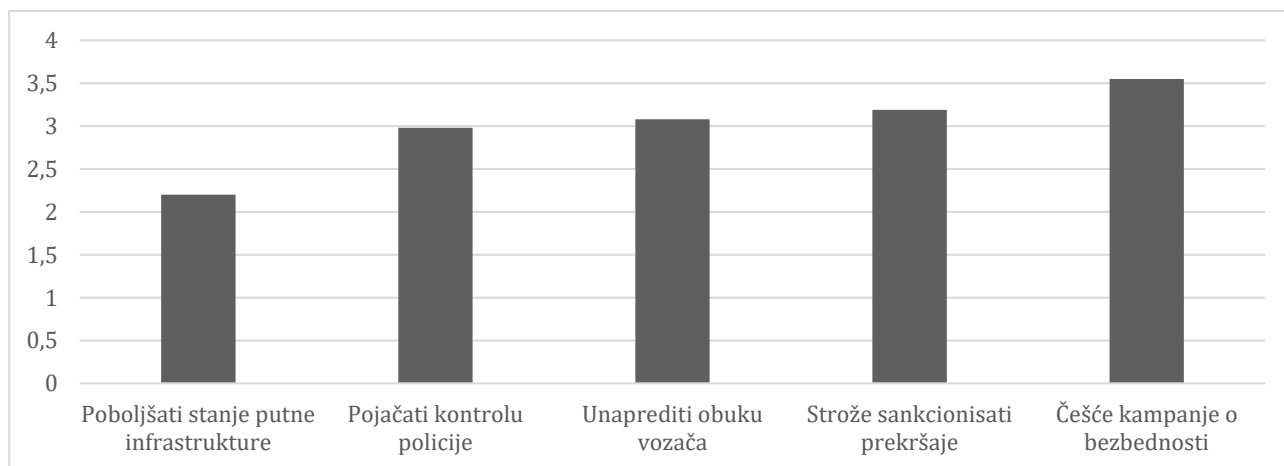
III. Percepcija o izabranim potencijalnim merama bezbednosti

U trećem delu ankete svi ispitanici su se izjasnili o radnjama koje bi nacionalne vlasti trebalo preduzeti da bi poboljšale bezbednost saobraćaja za šta je takođe korišćena Likert-skala od 1 do 5. U Tabeli 7 je prikazano procentualno učešće pojedinih odgovora na celom uzorku (u Prilogu C u Tabeli C2 je prikazano procentualno učešće odgovora prema svim kategorijama ispitanika), dok su na Grafikonu 5 i 6 prikazane ukupne srednje ocene faktora za ceo uzorak i po kategorijama, respektivno.

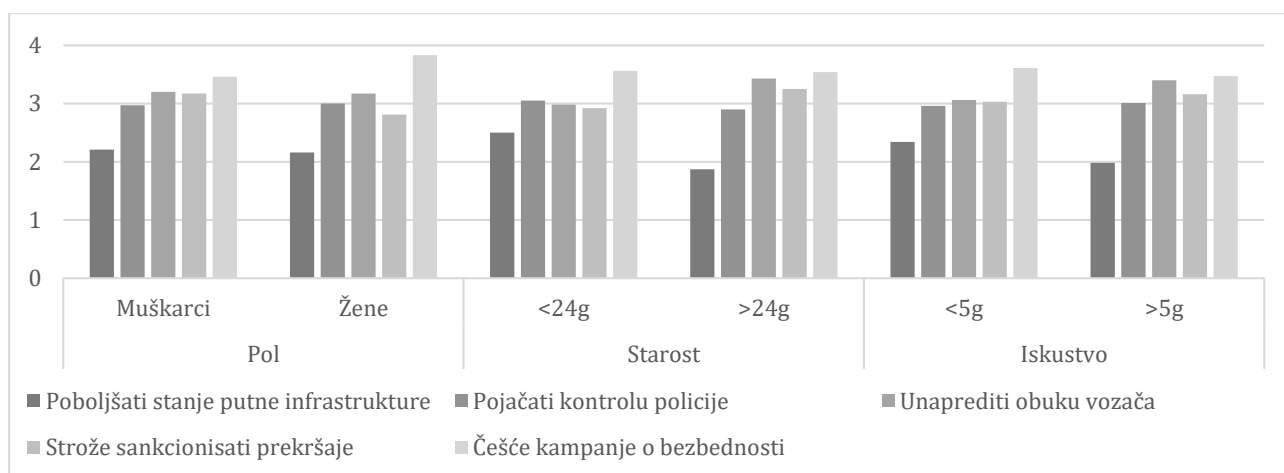
Većina građana Crne Gore smatra da bi u cilju podizanja nivoa bezbednosti saobraćaja najpre trebalo poboljšati stanje putne infrastrukture, a značajna statistička razlika u stavovima je zabeležena u odnosu na starost ($p = 4,30 \cdot 10^{-5}$) i iskustvo ispitanika ($p = 0,016$). Sledeće mere koje bi imale veliki udeo u popravljajući stanja bezbednosti je veći obim policijske kontrole i unapređenje obuke vozača. Statistički značajne razlike u stavovima zabeležene su povodom unapređenja obuke pri čemu su tu meru više isticale žene ($M = 2,81$ u odnosu na muškarce $M = 3,17$, $p = 0,041$) i mladi ($M = 2,91$ u odnosu na ispitanike starosti više od 24 godine $M = 3,25$, $p = 0,024$). Dve poslednje ali ne i najmanje važne mere po mišljenju učesnika su sprovođenje strožeg kaznenog sistema zbog nepoštovanja saobraćajnih propisa i sprovođenje više kampanja koje za cilj imaju podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja. I ovde su zabeležene statistički značajne razlike u stavovima i to u odnosu na starost i iskustvo ($p = 0,002$ i $p = 0,024$, respektivno) kada je u pitanju strože sankcionisanje i takođe pol ($p = 0,040$) kada je u pitanju iniciranje većeg broja kampanji.

Tabela 7. Percepcija potencijalnih preventivnih mera

	1	2	3	4	5	M	SD	Pol	Starost	Iskustvo
								P(T<=t) two-tail	P(T<=t) two-tail	P(T<=t) two-tail
Poboljšati stanje putne infrastrukture	48,32	16,21	13,46	11,31	10,70	2,20	0,08	,767	,000	,016
Pojačati kontrolu policije	12,54	27,22	24,46	21,41	14,37	2,98	0,07	,860	,262	,732
Unaprediti obuku vozača	16,82	19,57	20,49	25,08	18,04	3,08	0,08	,041	,024	,427
Strože sankcionisati prekršaje	12,23	20,18	23,24	24,77	19,57	3,19	0,07	,875	,002	,024
Češće kampanje o bezbednosti	9,48	17,43	18,35	17,74	37,00	3,55	0,08	,040	,879	,395



Grafikon 5. Srednja vrednost ocene svih potencijalnih preventivnih mera



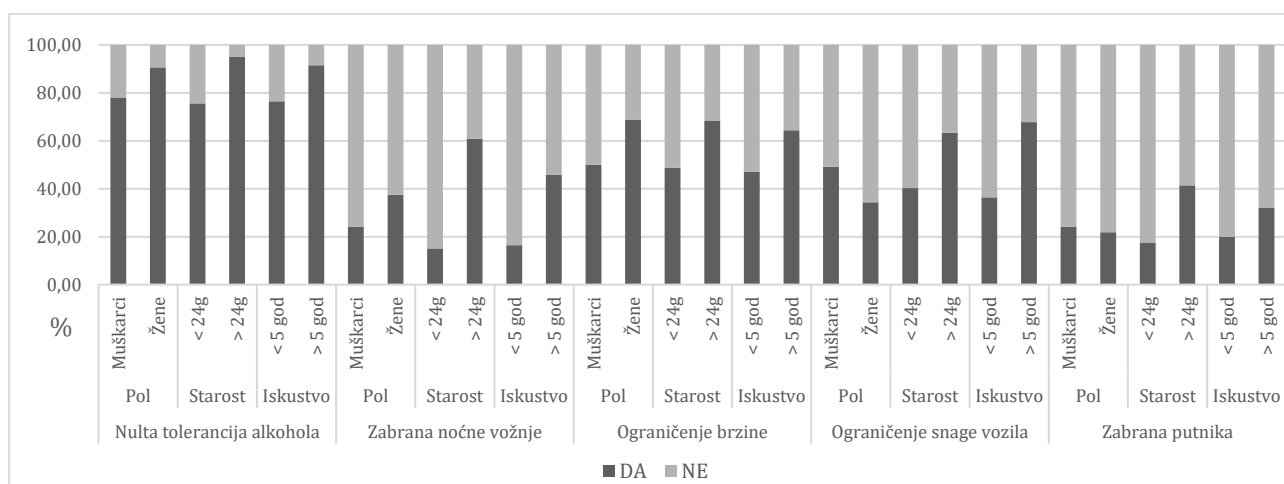
Grafikon 6. Srednja vrednost ocene potencijalnih mera prema kategorijama ispitanika

IV. Percepcija o izabranim potencijalnim merama bezbednosti za mlade vozače

Četvrti deo istraživanja percepcije posvećen je merama koje se odnose samo na mlade vozače, s obzirom da oni predstavljaju jednu od najranjivijih grupa u saobraćaju. Stavovi o načinima za poboljšanje nivoa njihove bezbednosti identifikovani su pitanjem koje se bavi promenama u sistemu policijskih kontrola i propisa koji se odnose samo na mlade vozače. Drugim rečima, vršeno je istraživanje spremnosti prihvatanja izabranih preventivnih mera koje se tiču samo mladih vozača. U Tabeli 8 je prikano procentualno učešće prihvatanja navedenih mera na celom uzorku (U Prilogu C u Tabeli C3 je prikazano procentualno učešće odgovora prema svim kategorijama ispitanika) dok su na Grafikonu 7 prikazani odgovori ispitanika prema kategorijama.

Tabela 8. Percepcija potencijalnih preventivnih mera za mlade vozače

	DA	NE	Pol		Starost		Iskustvo	
			P	χ^2	P	χ^2	P	χ^2
Nulta tolerancija alkohola	80,63	19,38	,110	2,56	,006	7,42	,005	7,71
Zabrana noćne vožnje	26,88	73,13	,130	2,30	,000	32,62	,000	17,90
Ograničenje brzine	53,75	46,25	,057	3,62	,030	4,69	,012	6,29
Ograničenje snage vozila	46,25	53,75	,132	2,27	,011	6,53	,000	16,79
Zabrana putnika	23,75	76,25	,781	0,08	,002	9,55	,031	4,67



Grafikon 7. Percepcija potencijalnih preventivnih merama za mlade vozače prema kategorijama ispitanika

Istraživanje je pokazalo da starost i iskustvo statistički značajno utiču na percepciju povodom svih analiziranih preventivnih mera koje se odnose na mlade vozače. Ukoliko se analiziraju samo mladi do 24 godine starosti statistički značajne razlike u stavovima su zabeležene u zavisnosti od pola (za mere koje se tiču zabrane noćne vožnje i ograničenja brzine vozila) i iskustva (za meru zabrane upravljanja vozilom pod dejstvom alkohola).

Zabrana vožnje mladim vozačima ukoliko su konzumirali alkohol je mera koja je dobila najveću podršku (80,63%). To nije iznenađenje s obzirom da je vožnja pod uticajem alkohola prepoznata kao najrizičnije ponašanje na putevima u Crnoj Gori. Ovu meru je podržalo 75,63% ispitanika mlađih od 24 godine i čak 95,12% starijih sa statistički značajnom razlikom između njih ($p = 0,006$, $\chi^2 = 7,42$). Iskustvo u vožnji se takođe pokazalo statistički uticajno na prihvatanje ove mere kako na celom uzorku ($p = 0,005$, $\chi^2 = 7,71$) tako i prilikom analize mladih ($p = 0,029$, $\chi^2 = 4,77$), pri čemu su iskusniji vozači pružili veću podršku (91,53% vozača sa iskustvom više od 5 godina i 83,33% mladih sa iskustvom više od 2 godine) od manje iskusnih (76,47% sa iskustvom manjim od 5 godina i 66,03% mladih koji vozačku dozvolu poseduju manje od 2 godine).

Ograničenje brzine i ograničenje snage vozila kojim upravlja mladi vozač su mere koje su takođe dobile značajnu podršku i na nivou celog uzorka (53,75% i 46,25%, respektivno) i od ispitanika mlađih od 24 godine (44,44% i 41,41%, respektivno), pri čemu je među mladima statistički značajna razlika zabeležena između muškaraca i žena povodom mere ograničenja brzine vozila (44,44% muškaraca je podržalo ovu meru u odnosu na 75% žena, $p = 0,013$, $\chi^2 = 6,21$). Mera zabrane vožnje mladim vozačima u periodu od 23h do 6h i mera zabrane prevoza putnika sličnih godina (vršnjaka) nisu dobile podršku ni od opšte populacije (26,88% i 23,75%, respektivno) ni od mlađih ispitanika (15,13% i 17,65%, respektivno) a mala statistički značajna razlika između stavova mlađe populacije je povodom zabrane noćne vožnje u zavisnosti od pola gde 12,12% muškaraca podržava ovu meru u odnosu na 30% žena ($p = 0,041$, $\chi^2 = 4,14$)

U narednom koraku potrebno je implementirati istraživanje o percepciji u predloženu metodologiju kreiranja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja na teritoriji. S obzirom na prepoznate nedostatke da se subjektivne vrednosti podataka prikupljenih anketom pomoću Likert-skale predstavljaju računajući srednju vrednost ocene (ranga), a takođe i zbog neprilagođenosti takve vrste podataka za implementaciju u DEA analizu, u narednom delu biće prikazan način obrade pomoću sivih brojeva.

5.2.1.1.2. Modeliranje podataka o percepciji

Subjektivno mišljenje i stavovi opšte populacije povodom uticaja negativnih ponašanja vozača na stanje bezbednosti (upravljanje vozilom pod dejstvom alkohola, upravljanje vozilom brzinom većom od dozvoljene, upotreba sigurnosnih pojaseva tokom vožnje i upotreba mobilnog telefona u toku vožnje) biće prikazani primenom sivih brojeva. Na ovaj način biće uzeta u obzir nesigurnost kojom se ovakvi podaci odlikuju i dobiće se pouzdanija vrednost percepcije bezbednosti saobraćaja po svim izabranim pitanjima. Sivi brojevi se u tom smislu u literaturi uglavnom koriste kako bi se izrazilo subjektivno mišljenje donosioca odluka povodom određenih kriterijuma. U ovom poglavlju, stavovi svih ispitanika koji su učestvovali u istraživanju biće opisani sivim brojevima. Prema saznanju autora, ovo je prvi put da se sivi brojevi koriste u oblasti bezbednosti saobraćaja za obradu nesigurnosti stavova i percepcije.

Sve lingvističke promenljive kojima su ispitanici procenjivali uticaj pojedinih faktora prikazane su u Tabeli 9. Zatim, svaki pojedinačan stav svih ispitanika opisan je odgovarajućim sivim brojem predstavljenim u Tabeli 10 a kao što je prikazano na primeru u Tabeli 11. Sivi broj kojim se opisuje percepcija za izabrani uticajni faktor (\otimes_{v_1} , \otimes_{a_1} , \otimes_{p_1} , \otimes_{t_1}) se računa kao srednja vrednost svih sivih brojeva za taj faktor, a primenjujući operacije sa sivim brojevima (Poglavlje 4.1.2.). Zatim se vrši beljenje dobijenih vrednosti kako bi se konačno dobio *crisp* broj koja predstavlja vrednost percepcije po svakom faktoru a koji dalje predstavljaju ulazni podatak za MLDEA.

Tabela 9. Lingvističke ocene uticaja izabranih faktora

Redni broj ispitanika	Uticajni faktori			
	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
1	VU	VU	VMU	MU
2	VVU	VVU	MU	VU
3	VU	SU	VMU	VVU
⋮
327	VU	VU	SU	MU

Tabela 10. Lingvističke ocene uticaja izabranih faktora i odgovarajući sivi brojevi

Lingvistička promenljiva	Oznaka	Sivi broj
Veoma veliki uticaj	VVU	[0.0, 0.1]
Veliki uticaj	VU	[0.1, 0.4]
Osrednji uticaj	SU	[0.4, 0.6]
Mali uticaj	MU	[0.6, 0.9]
Veoma mali uticaj	VMU	[0.9, 1.0]

Tabela 11. Kodiranje lingvističkih promenljivih sivim brojevima

Redni broj ispitanika	Uticajni faktori			
	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
1	[0.1, 0.4]	[0.1, 0.4]	[0.9, 1.0]	[0.6, 0.9]
2	[0.0, 0.1]	[0.0, 0.1]	[0.6, 0.9]	[0.1, 0.4]
3	[0.1, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.9, 1.0]	[0.0, 0.1]
⋮
327	[0.1, 0.4]	[0.1, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.9]
	$\otimes v_1$	$\otimes a_1$	$\otimes p_1$	$\otimes t_1$
Izbeljena vrednost	v_1	a_1	p_1	t_1

Sprovođenje *DEA* analize podrazumeva da je svaka *DMU* opisana istim pokazateljima. S obzirom da je istraživanje o percepciji u Crnoj Gori sprovedeno na nivou države, potrebno je dobijene vrednosti transformisati tako da oslikavaju stanje u svakoj analiziranoj opštini. To će biti izvršeno na sledeći način: podaci o percepciji prikupljeni anketiranjem klasifikovani su u odnosu na pol i starost ispitanika. Zatim su za sve faktore posebno (brzina, alkohol, pojas telefon) dobijeni sivi brojevi koji opisuju percepciju svake od posmatranih grupa (primer za brzinu Tabela 12) a čije su konačne vrednosti prikazane u Tabeli 13.

Kako bi se dobile vrednosti sivih brojeva za sve *DMU* (opštine), vrednosti iz Tabele 13 se transformišu u zavisnosti od strukture stanovništva prema polu i starosti u svakoj opštini. Procentualni udeo pojedinih grupa stanovništva (prikazanih u Tabeli 14) će u tom slučaju igrati ulogu „težinskog koeficijenta“ pa će konačni sivi broj za jednu *DMU* (prema opštim pravilima rukovanja sivim brojevima) predstavljati ponderisanu sumu kategorisanih sivih brojeva. Primer dobijanja sivog broja za brzinu za Andrijevicu prikazan je jednačinom (46), a sivi brojevi svih *DMU* prikazani su u Tabeli 15.

Tabela 12. Sivi brojevi po kategorijama stanovništva – percepcija uticaja brzine

Redni broj ispitanika	Brzina					
	Muškarci			Žene		
	<24g	24-55g	>55g	<24g	24-55g	>55g
1	VU	VU	VMU	MU	VMU	MU
2	VVU	VVU	MU	VU	MU	VU
3	VU	SU	VMU	VVU	VMU	VVU
⋮
<i>n</i>	VU	VU	SU	MU	SU	MU
$\otimes x_1$	[0,274, 0,497]	[0,327, 0,548]	[0,194, 0,411]	[0,308, 0,519]	[0,260, 0,487]	[0,273, 0,507]

Tabela 13. Sivi brojevi za percepciju svih izabranih faktora prema kategoriji stanovništva

	Muškarci			Žene		
	<24g	24-55g	>55g	<24g	24-55g	>55g
Brzina	[0,274, 0,497]	[0,327, 0,548]	[0,194, 0,411]	[0,308, 0,519]	[0,260, 0,487]	[0,273, 0,507]
Alkohol	[0,253, 0,423]	[0,201, 0,359]	[0,183, 0,344]	[0,146, 0,332]	[0,197, 0,360]	[0,287, 0,440]
Pojas	[0,521, 0,704]	[0,479, 0,672]	[0,461, 0,650]	[0,508, 0,678]	[0,487, 0,710]	[0,487, 0,673]
Telefon	[0,456, 0,665]	[0,461, 0,673]	[0,406, 0,661]	[0,449, 0,659]	[0,557, 0,770]	[0,293, 0,440]

$$\begin{aligned} \otimes v_{1\text{Andrijevica}} &= 0,52 \cdot (0,1 \cdot [0,274, 0,497] + 0,47 \cdot [0,327, 0,548] + 0,42 \cdot [0,194, 0,411]) + 0,49 \\ &\quad \cdot (0,11 \cdot [0,308, 0,519] + 0,47 \cdot [0,260, 0,487] + 0,42 \cdot [0,273, 1,507]) \\ &= [0,393, 0,727] \end{aligned} \quad (46)$$

Nakon dobijanja vrednosti sivih brojeva pristupa se njihovom beljenju kako bi se dobili crisp brojevi čije su vrednosti takođe date u Tabeli 15. Ovako dobijeni crisp brojevi predstavljaju ulazne veličine koje pripadaju podkategoriji percepcije u domenu „čovjek“ i predstavljaju jedan od setova podataka na prvom nivou višeslojne *DEA* analize. S obzirom na

princip rada *DEA* kada je u pitanju hijerarhijska struktura indikatora, neophodno je izvršiti transformaciju ulaznih podataka. To je izvršeno linearnom-max transformacijom za prihodni kriterijum predstavljenom u formuli (6), a transformisane vrednosti su prikazane u Tabeli 16.

Tabela 14. Struktura stanovništva prema polu i starosti po opštinama

	Muškarci			Žene				
		<24g	24-55g	55+	<24g	24-55g	55+	
Andrijevića	0,52	0,10	0,47	0,42	0,49	0,11	0,47	0,42
Bar	0,49	0,13	0,55	0,32	0,51	0,13	0,58	0,28
Berane	0,50	0,14	0,57	0,30	0,50	0,13	0,56	0,31
Bijelo Polje	0,50	0,15	0,56	0,29	0,50	0,14	0,57	0,29
Budva	0,48	0,12	0,60	0,28	0,52	0,16	0,62	0,22
Cetinje	0,48	0,14	0,54	0,33	0,52	0,13	0,53	0,33
Danilovgrad	0,53	0,15	0,55	0,30	0,48	0,13	0,55	0,32
Herceg Novi	0,49	0,11	0,54	0,35	0,51	0,11	0,58	0,31
Kolašin	0,51	0,14	0,54	0,32	0,50	0,11	0,52	0,36
Kotor	0,48	0,12	0,55	0,33	0,52	0,12	0,57	0,31
Mojkovac	0,51	0,13	0,56	0,31	0,50	0,12	0,57	0,32
Nikšić	0,49	0,13	0,56	0,31	0,51	0,14	0,56	0,30
Plav	0,51	0,16	0,53	0,30	0,49	0,13	0,57	0,30
Pljevlja	0,49	0,11	0,53	0,36	0,51	0,10	0,53	0,37
Plužine	0,51	0,11	0,49	0,40	0,49	0,10	0,47	0,43
Podgorica	0,49	0,14	0,58	0,28	0,51	0,16	0,60	0,25
Rožaje	0,51	0,17	0,60	0,23	0,49	0,16	0,63	0,20
Šavnik	0,52	0,12	0,53	0,36	0,48	0,11	0,45	0,44
Tivat	0,49	0,11	0,57	0,32	0,51	0,14	0,59	0,27
Ulcinj	0,50	0,14	0,53	0,33	0,50	0,13	0,57	0,30
Žabljak	0,50	0,12	0,51	0,37	0,50	0,11	0,49	0,40

Tabela 15. Konačne vrednosti percepcije izabranih faktora

	Sivi brojevi \otimes				Izbeljena vrednost sivog broja (<i>crisp</i>)			
	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
Andrijevića	[0,269, 0,492]	[0,357, 0,375]	[0,483, 0,679]	[0,436, 0,644]	0,380	0,366	0,581	0,540
Bar	[0,274, 0,497]	[0,209, 0,371]	[0,484, 0,682]	[0,455, 0,664]	0,385	0,290	0,583	0,560
Berane	[0,276, 0,499]	[0,210, 0,372]	[0,484, 0,682]	[0,453, 0,661]	0,387	0,291	0,583	0,557
Bijelo Polje	[0,276, 0,499]	[0,209, 0,372]	[0,485, 0,682]	[0,455, 0,664]	0,387	0,291	0,584	0,559
Budva	[0,277, 0,500]	[0,206, 0,368]	[0,485, 0,684]	[0,464, 0,674]	0,388	0,287	0,584	0,569
Cetinje	[0,274, 0,497]	[0,211, 0,373]	[0,484, 0,682]	[0,449, 0,656]	0,385	0,292	0,583	0,553
Danilovgrad	[0,275, 0,498]	[0,211, 0,372]	[0,484, 0,681]	[0,450, 0,659]	0,387	0,292	0,583	0,555
Herceg Novi	[0,272, 0,496]	[0,210, 0,372]	[0,483, 0,682]	[0,452, 0,661]	0,384	0,291	0,582	0,557
Kolašin	[0,274, 0,498]	[0,213, 0,374]	[0,484, 0,681]	[0,446, 0,653]	0,386	0,294	0,583	0,550
Kotor	[0,274, 0,497]	[0,211, 0,373]	[0,484, 0,683]	[0,452, 0,661]	0,385	0,292	0,584	0,557
Mojkovac	[0,275, 0,498]	[0,211, 0,372]	[0,484, 0,682]	[0,452, 0,661]	0,386	0,292	0,583	0,556
Nikšić	[0,275, 0,499]	[0,210, 0,372]	[0,485, 0,683]	[0,453, 0,662]	0,387	0,291	0,584	0,558
Plav	[0,274, 0,498]	[0,211, 0,373]	[0,485, 0,682]	[0,454, 0,662]	0,386	0,292	0,584	0,558
Pljevlja	[0,272, 0,495]	[0,213, 0,374]	[0,483, 0,680]	[0,445, 0,652]	0,384	0,293	0,582	0,548
Plužine	[0,269, 0,493]	[0,215, 0,376]	[0,482, 0,678]	[0,435, 0,642]	0,381	0,295	0,580	0,539
Podgorica	[0,277, 0,500]	[0,207, 0,370]	[0,485, 0,683]	[0,460, 0,669]	0,388	0,289	0,584	0,565
Rožaje	[0,279, 0,502]	[0,206, 0,369]	[0,486, 0,684]	[0,466, 0,676]	0,391	0,288	0,585	0,571
Šavnik	[0,273, 0,496]	[0,215, 0,376]	[0,483, 0,679]	[0,435, 0,641]	0,384	0,296	0,581	0,538
Tivat	[0,275, 0,498]	[0,208, 0,370]	[0,484, 0,682]	[0,457, 0,666]	0,386	0,289	0,583	0,562
Ulcinj	[0,273, 0,497]	[0,210, 0,372]	[0,484, 0,682]	[0,453, 0,662]	0,385	0,291	0,583	0,558
Žabljak	[0,271, 0,495]	[0,214, 0,375]	[0,483, 0,680]	[0,440, 0,647]	0,383	0,295	0,581	0,543

Tabela 16. Normalizovane vrednosti percepcije izabranih faktora

	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
Andrijevića	0,972	1,000	0,993	0,946
Bar	0,985	0,792	0,997	0,981
Berane	0,990	0,795	0,997	0,975
Bijelo Polje	0,990	0,795	0,998	0,979
Budva	0,992	0,784	0,998	0,996
Cetinje	0,985	0,798	0,997	0,968
Danilovgrad	0,990	0,798	0,997	0,972
Herceg Novi	0,982	0,795	0,995	0,975
Kolašin	0,987	0,803	0,997	0,963
Kotor	0,985	0,798	0,998	0,975
Mojkovac	0,987	0,798	0,997	0,974
Nikšić	0,990	0,795	0,998	0,977
Plav	0,987	0,798	0,998	0,977
Pljevlja	0,982	0,801	0,995	0,960
Plužine	0,974	0,806	0,991	0,944
Podgorica	0,992	0,790	0,998	0,989
Rožaje	1,000	0,787	1,000	1,000
Šavnik	0,982	0,809	0,993	0,942
Tivat	0,987	0,790	0,997	0,984
Ulcinj	0,985	0,795	0,997	0,977
Žabljak	0,980	0,806	0,993	0,951

5.2.1.2. Istraživanje ponašanja vozača u Crnoj Gori

U cilju povećanja bezbednosti saobraćaja neophodno je sagledati faktore koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda i analizirati rizična ponašanja koja utiču na pojavu incidentnih situacija. U Crnoj Gori još uvek ne postoje relevantna istraživanjima o ponašanju vozača u saobraćaju pa se potrebni podaci mogu prikupiti sprovođenjem upitnika. U literaturi se podaci o ponašanju prikupljeni anketama definišu terminom „samoprijavljeno ponašanje“. Istraživanje za potrebe ove doktorske disertacije je vršeno u toku 2019. godine. Upitnik je sastavljen u elektronskoj i papirnoj formi. Internet adresa elektronske forme upitnika podeljena je korišćenjem društvenih mreža dok su obrasci ankete u papirnoj formi podeljeni ekspoziturama osiguravajućih kuća u svim gradovima Crne Gore. Unapred je određena donja granica potrebnog broja upitnika za svaku opštinu postavljanjem nivoa pouzdanosti od 95% i intervalom poverenja od 3%. Kontrolne promenljive uzorka su pol (muškarci, žene), period posedovanja vozačke dozvole (bez vozačke dozvole, do 2 godine, 2 do 5 godina, više od 5 godina) i učestalost vožnje (svakodnevno, 1 do 3 puta nedeljno, 1 do 3 puta mesečno, manje od 1 mesečno).

Prema dužini posedovanja vozačke dozvole vozači su dalje podeljeni u dve kategorije i to: kada je u pitanju ceo uzorak, grupe čine vozači do 5 i više od 5 godina iskustva, a kada su u pitanju mladi, grupe čine vozači do 2 i više od 2 godina iskustva.

Upitnik je sastavljen u skladu sa ESRA i SARTRE metodologijom i sadrži delove koji se tiču prekoračenja brzine, upravljanja vozilom pod dejstvom alkohola, upotrebe sigurnosnog pojasa i upotrebe telefona u toku vožnje. Svaki ispitanik je učestalost određenog ponašanja u toku vožnje opisivao koristeći neku od vrednosti jezičkih promenljivih: nikad, retko, ponekad, često, veoma često i uvek. U tabeli 17 je dat prikaz svih 28 pitanja iz ankete vezanih za rizično ponašanje, sa odgovarajućim ponuđenim vrednostima odgovora, kao i šifre svih pitanja koje će biti korišćene u nastavku teksta umesto navođenja celog pitanja. Pouzdanost ankete je utvđena koeficijentom Kronbah alfa koji iznosi 0,829 ($\alpha > 0,75$).

Tabela 17. Istraživanje samoprijavljenog ponašanja vozača

Pitanja	Stepen slobode odgovora*	Šifra
Prekoračenje brzina		
Koliko često vozite brzinom većom od propisane?		
[Na glavnim magistralnim putevima]	6	V1
[Na ostalim putevima između naselja]	6	V2
[Na gradskim ulicama]	6	V3
Da li na putevima sa većim dozvoljenim brzinama (60-80km/h) prekoračujete propisanu brzinu?		
[Za više od 30 km/h]	6	V4
[Za manje od 30 km/h]	6	V5
Da li na putevima sa manjim dozvoljenim brzinama (50-60km/h) prekoračujete propisanu brzinu?		
[Za više od 20 km/h]	6	V6
[Za manje od 20 km/h]	6	V7
Da li na gradskim ulicama prekoračujete propisanu brzinu?		
[Za više od 10 km/h]	6	V8
[Za manje od 10 km/h]	6	V9
Upravljanje vozilom pod dejstvom alkohola		
Praktikujete li vožnju pod uticajem alkohola?	3	A1
Da li se dešava da vozite pod dejstvom alkohola?		
[Na glavnim magistralnim putevima]	6	A2
[Na ostalim putevima između naselja]	6	A3
[Na gradskim ulicama]	6	A4
Upotreba sigurnosnog pojasa		
Da li koristite sigurnosni pojas u toku vožnje?	2	P1
Koliko često vezujete sigurnosni pojas tokom vožnje?		
[Na glavnim magistralnim putevima]	6	P2
[Na ostalim putevima između naselja]	6	P3
[Na gradskim ulicama]	6	P4
Koliko često Vaš suvozač vezuje sigurnosni pojas tokom vožnje?		
[Na glavnim magistralnim putevima]	6	P5
[Na ostalim putevima između naselja]	6	P6
[Na gradskim ulicama]	6	P7
Da li djecu starosti do 5 godina prevozite u zaštitnom sjedištu?		
[Na glavnim magistralnim putevima]	6	P8
[Na ostalim putevima između naselja]	6	P9
[Na gradskim ulicama]	6	P10
Upotreba telefona u toku vožnje		
Da li koristite mobilni telefon u toku vožnje?	2	T1
Da li koristite hands-free uređaj za razgovor mobilnim telefonom u toku vožnje?		
[Na vangradskim putevima]	6	T2
[Na gradskim ulicama]	6	T3
Da li u toku vožnje koristite mobilni telefon za pisanje poruka i posjećivanje društvenih mreža?		
[Na vangradskim putevima]	6	T4
[Na gradskim ulicama]	6	T5

*2: Da / Ne;

3: Ne vozim kada konzumiram alkohol / Da, nakon manjih količina alkohola / Da, bez obzira na količinu;

6: Nikad / Retko / Ponekad / Često / Veoma često / Uvek.

5.2.1.2.1. Statistička obrada prikupljenih podataka

Nakon izostavljanja nepotpunih anketnih obrazaca, konačni uzorak broji 1309 ispitanika (Tabela 18) od kojih je 54,01% muškog i 45,99% ženskog pola. Oko četvrtina ispitanika (28,68) su vozači koji poseduju vozačku do 5 godina. Većina vozača (91,14%) je prijavila visoku učestalost vožnje dok je taj procenat nešto niži kada su u pitanju mladi vozači i iznosi 84,54%.

Tabela 18. Deskriptivna tabela uzorka za istraživanje ponašanja

Promenljiva		≤24 godine		Ukupno	
		N	%	N	%
Pol	Muškarci	180	(51,87)	707	(54,01)
	Žene	167	(48,13)	602	(45,99)
Posedovanje vozačke dozvole	≤2 godine	87	(25,10)	158	(12,06)
	2-5 godina	260	(74,90)	217	(16,61)
	>5 godina	-	-	934	(71,32)
Učestalost vožnje	Svakodnevno	219	(63,18)	998	(76,24)
	1-3 puta nedeljno	74	(21,36)	195	(14,90)
	1-3 puta mesečno	25	(7,27)	55	(4,20)
	Manje od 1 nedeljno	28	(8,18)	61	(4,66)
		347	(100)	1309	(100)

U nastavku teksta prikazana je analiza ponašanja vozača na nivou Crne Gore za sledeća rizična ponašanja:

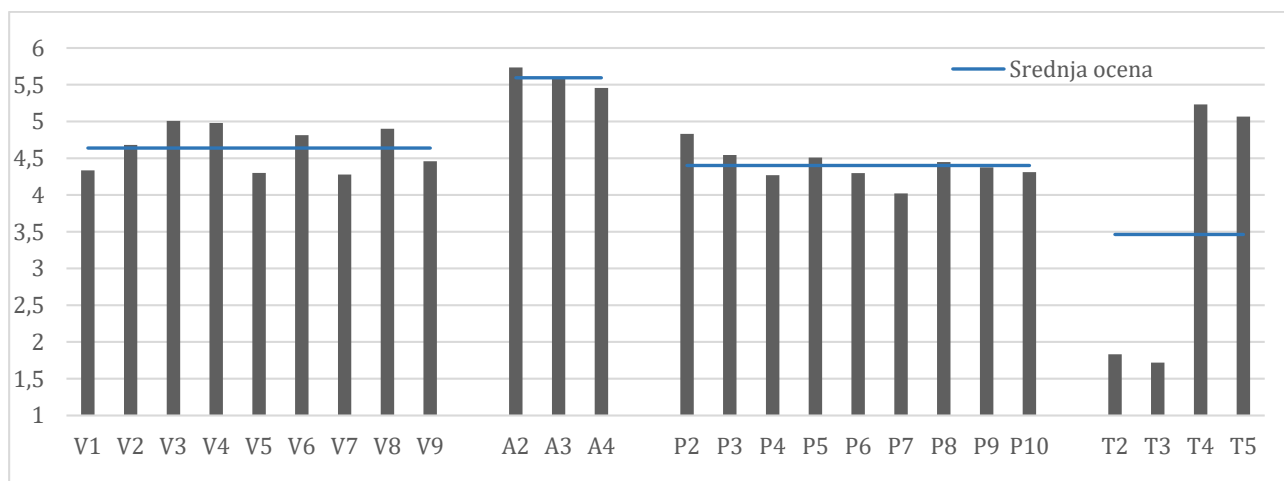
- ✓ Vožnja brzinom većom od dozvoljene (skraćeno Brzina)
- ✓ Upravljanje vozilom pod dejstvom alkohola (skraćeno Alkohol)
- ✓ Upotreba sigurnosnih pojaseva u toku vožnje (skraćeno Pojas)
- ✓ Upotreba telefona u toku vožnje (skraćeno Telefon).

U Tabeli 19 je predstavljen procentualni udeo odgovora za sva analizirana pitanja. Kada je samoprijavljenom pozitivnom ponašanju dodeljena ocena 6 na Likert-skali (npr. za pitanje da li prekoračujete brzinu, pozitivan je odgovor „nikad“ dok je kod pitanja u vezi korišćenja sigurnosnog pojasa pozitivan odgovor „uvek“), a negativnom ponašanju ocena 1, izračunate su srednje vrednosti odgovora i prikazane su u na Grafikonu 8. Može se zaključiti da su stanovnici Crne Gore svesni problema koji predstavlja upravljanje vozilom nakon konzumiranja alkohola pa to predstavlja najređe zastupljeno ponašanje.

Negativno ponašanje koje najčešće praktikuju vozači na crnogorskim putevima je upotreba telefona – njih 55, 59% je prijavilo da koristi telefon dok vozi, pri tome veoma mali broj vozača (manje od 10%) koristi „hands-free“ uređaje. Statistički značajne razlike u ponašanju ($p < 0,05$) zabeležene su u odnosu na dužinu vozačkog staža ispitanika, naročito po pitanju prekoračenja brzine i upravljanjem vozila nakon konzumiranja alkohola. Učestalost navedenih negativnih ponašanja svih analiziranih kategorija su predstavljene Tabelama D2–D5 u Prilogu D, a u nastavku su prikazane glavne karakteristike svakog.

Tabela 19. Procentualni udeo svih odgovora

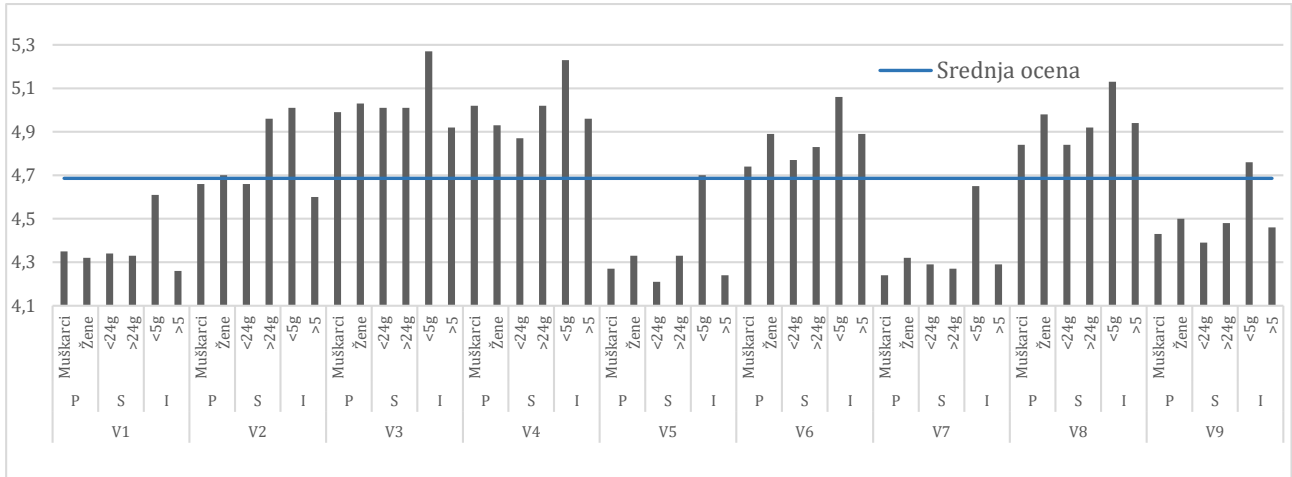
	Nikad	Retko	Ponekad	Često	Veoma često	Uvek	M	SD	Pol	Starost	Iskustvo
									P(T<=t) two-tail	P(T<=t) two-tail	P(T<=t) two-tail
BRZINA											
V1	20,55	28,27	29,34	12,22	5,19	4,43	4,33	1,31	,063	,352	,000
V2	31,26	30,20	23,24	9,01	3,10	3,18	4,68	1,26	,364	,798	,000
V3	44,00	29,33	16,95	5,40	1,82	2,51	5,01	1,18	,388	,649	,000
V4	44,24	27,73	16,29	7,12	2,73	1,89	4,98	1,20	,007	,619	,002
V5	24,28	28,07	20,94	13,81	5,92	6,98	4,30	1,47	,214	,911	,000
V6	36,66	28,12	21,69	8,92	2,57	2,04	4,81	1,21	,049	,391	,036
V7	23,54	25,06	25,74	13,25	6,06	6,36	4,28	1,44	,012	,309	,000
V8	41,39	26,07	20,88	6,78	2,67	2,21	4,90	1,22	,187	,470	,036
V9	30,57	26,51	19,31	12,11	4,83	6,67	4,46	1,48	,042	,811	,006
ALKOHOL											
A1 ^a	75,28	20,67	4,04	-	-	-	5,38	1,98	0,015*	,007*	,000*
A2	82,76	11,09	4,27	0,97	0,52	0,37	5,73	0,69	0,222	,191	,000
A3	76,39	12,89	6,52	2,70	0,90	0,60	5,59	0,87	0,104	,161	,009
A4	74,64	9,30	7,95	4,35	2,63	1,13	5,46	1,10	0,006	,038	,000
POJAS											
P1 ^b	83,01	16,99	-	-	-	-	5,15	1,88	,977*	,182*	,029*
P2	6,44	6,44	10,71	9,74	7,27	59,40	4,83	1,64	,109	,146	,328
P3	9,51	7,86	13,47	9,58	7,04	52,54	4,54	1,78	,001	,187	,161
P4	15,45	8,25	12,00	9,53	7,80	46,96	4,27	1,93	,000	,029	,014
P5	8,86	7,96	13,66	9,68	12,69	47,15	4,51	1,73	0,452	,586	,624
P6	9,48	9,93	15,82	11,19	13,28	40,30	4,30	1,75	0,232	,616	,764
P7	13,89	10,81	17,72	9,91	12,31	35,36	4,02	1,84	,029	,489	,960
P8	15,75	4,94	11,28	7,52	7,87	52,64	4,45	1,93	,132	,000	,000
P9	16,37	6,01	10,84	7,30	9,42	50,06	4,38	1,94	,090	,000	,000
P10	15,58	7,08	12,16	8,38	9,45	47,34	4,31	1,92	,155	,000	,000
TELEFON											
T1 ^b	55,59	44,41	-	-	-	-	3,22	2,48	,112*	,052*	,000*
T2	67,30	10,57	8,69	4,76	2,42	6,27	1,83	1,46	,086	,733	,435
T3	70,64	10,34	7,70	4,08	2,42	4,83	1,72	1,36	,015	,738	,258
T4	60,35	18,58	11,03	5,97	2,11	1,96	5,23	1,18	,642	,677	,340
T5	58,46	15,86	10,95	6,95	4,15	3,63	5,07	1,39	,131	,585	,031

* χ^2 u tabeli u prilogu^a Odgovori su: Ne, Da nakon manjih količina alkohola, Da bez obzira na količinu, respektivno^b Odgovori su: Da, Ne, respektivno

Grafikon 8. Srednja ocena ponašanja

I. Vožnja brzinom većom od dozvoljene

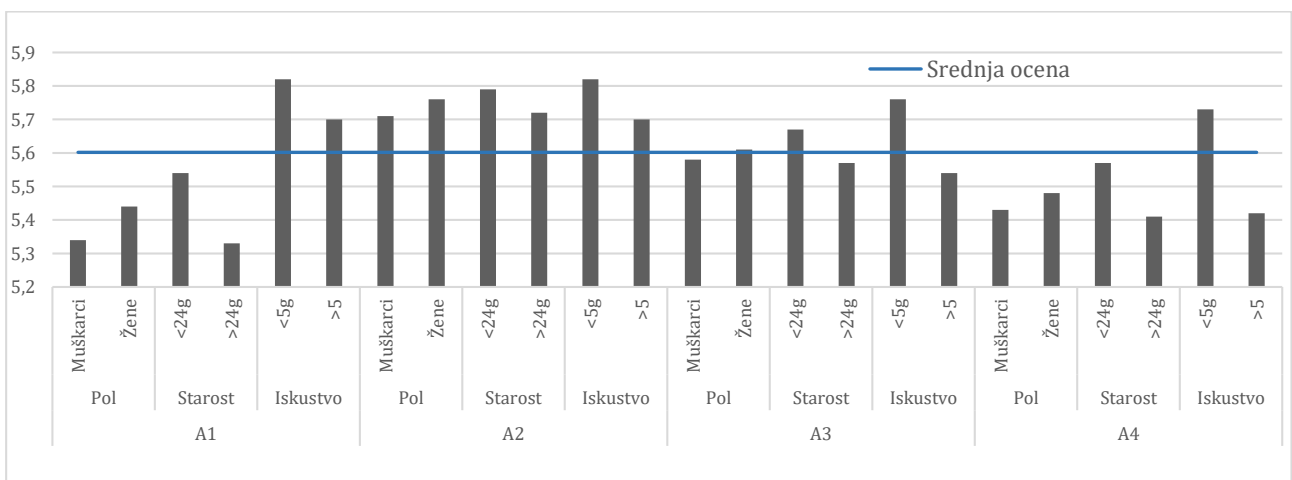
Vozači u Crnoj Gori brzinu prekoračuju najčešće na glavnim magistralnim putevima ($M = 4,33$, $SD = 1,31$), pri čemu iskustvo ima statistički značajan uticaj na preduzimanje tog rizičnog ponašanja (Grafikon 9). Vozači koji dozvolu poseduju duže od 5 godina su skloniji da voze brzinom većom od dozvoljene nezavisno od kategorije puta kojim se kreću. Takođe, pokazalo se da pol statistički značajno utiče na intezitet prekoračenja brzine – uglavnom muškarci praktikuju vožnju brzinama većim od 30 km/h, 20 km/h i 10 km/h na magistralnim putevima, drugim putevima van naselja i gradskim ulicama, respektivno.



Grafikon 9. Prekoračenje brzine prema kategorijama ispitanika

II. Upravljanje vozilom pod dejstvom alkohola

Rezultati istraživanja pokazuju da sklonost ka upravljanju vozilom nakon konzumiranja alkohola statistički značajno zavisi od pola, starosti i iskustva vozača ($p = 0,015$, $\chi^2 = 8,36$; $p = 0,007$, $\chi^2 = 9,95$; $p = 3,02 \cdot 10^{-5}$, $\chi^2 = 20,82$, respektivno) pri čemu su takvom ponašanju skloniji muškarci, i to vozači stariji od 24 godine i vozači koji dozvolu poseduju duže od 5 godina (Grafikon 10). Iskustvo igra statistički značajnu ulogu i kada se analizira ovo negativno ponašanje u odnosu na kategoriju puta, dok statistički značajno utiču i pol i starost kada su u pitanju gradske ulice, a gde se takođe izdvajaju gorenavedene kategorije.

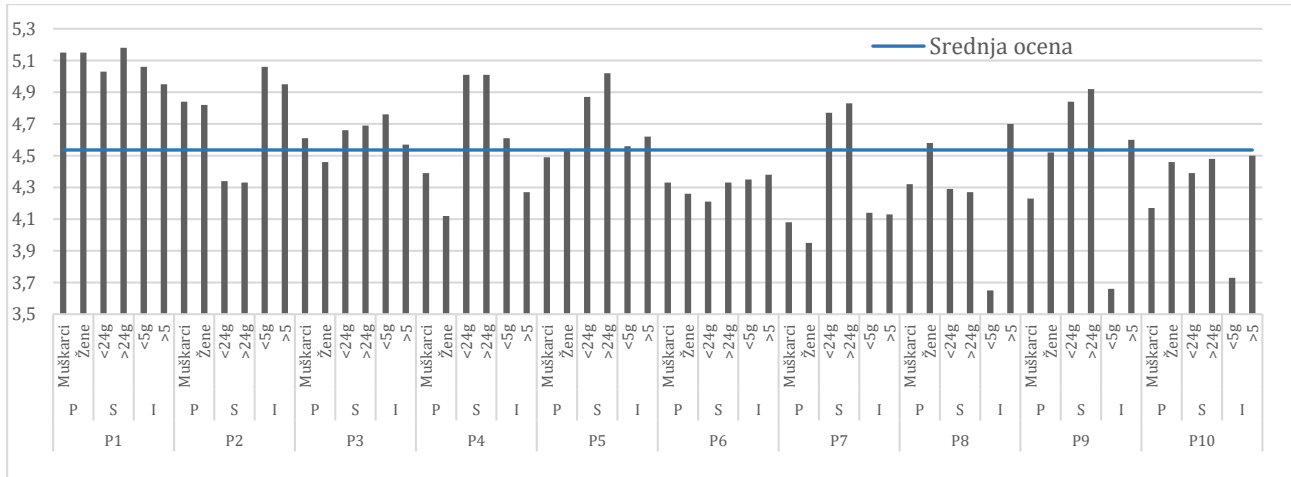


Grafikon 10. Vožnja pod dejstvom alkohola prema kategorijama ispitanika

III. Upotreba sigurnosnog pojasa u toku vožnje

Mala statistički značajna razlika kada je u pitanju generalna sklonost ka upotrebi sigurnosnog pojasa u toku vožnje (Grafikon 11) zabeležena je u odnosu na iskustvo vozača ($p = 0,029$, $\chi^2 = 4,80$) pri čemu su mladi vozači u većem procentu prijavili pozitivno ponašanje (92,25%) u odnosu na ostale vozače (87,22%). Da li će vozač koristiti pojas u toku vožnje gradskim ulicama,

statistički značajno utiču pol, starost i iskustvo samog vozača ($p < 0,05$). Pol statistički značajno utiče i na odluku da li će sigurnosni pojas koristiti vozač kada se kreće ostalim putevima van naselja ($p = 0,001$) i suvozač kada se kreće gradskim ulicama ($p = 0,029$). U oba slučaja nekorišćenje pojasa karakteriše žensku populaciju. Kada je reč o korišćenju zaštitnog sedišta za prevoz dece na svim kategorijama puta, odgovornije ponašanje prijavili su mlađi vozači (<24 godine starosti) i vozači sa manje vozačkog staža (<5 godina).

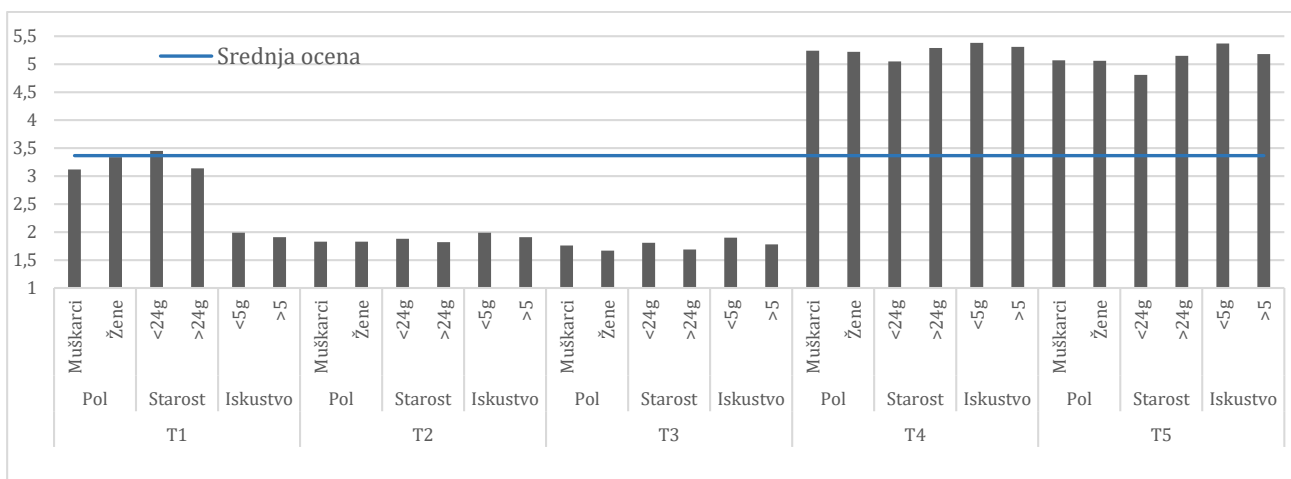


Grafikon 11. Upotreba sigurnosnog pojasa u toku vožnje prema kategorijama ispitanika

IV. Upotreba telefona u toku vožnje

Kada je reč o upotrebi telefona u toku vožnje (Grafikon 12), statistički značajna razlika je među vozačima različitog iskustva ($p = 2 \cdot 10^{-4}$, $\chi^2 = 13,9$) pri čemu je većina mladih vozača (55,35%) prijavilo da ne koristi telefon u toku vožnje, dok je to isto prijavilo manje od polovine vozača sa preko 5 godijna iskustva (41,86%).

Vozači u Crnoj Gori uglavnom ne koriste „hands-free“ uređaje ($M = 1,82$, $SD = 1,43$), a statistički značajna razlika je zabeležena u odnosu na pol vozača kada se kreću vangradskim putevima ($p = 0,015$). Pisanje poruka u toku vožnje i poseta društvenim mrežama, su među najređe zastupljenim ponašanjima na crnogorskim drumovima sa malom statistički značajnom razlikom u odnosu na iskustvo ($p = 0,031$) kada je vožnja gradskim ulicama u pitanju.



Grafikon 12. Upotreba telefona u toku vožnje prema kategorijama ispitanika

5.2.1.2.2. Modeliranje podataka o ponašanju

Za razliku od istraživanja percepcije koje je sprovedeno anketiranjem uzorka na nacionalnom nivou, istraživanje ponašanja vozača je vršeno na lokalnom nivou. Unapred je

određen potreban minimalni relevantni uzorak na nivou svake opštine a podaci o veličini prikupljenog uzorka su prikazani u Tabeli D1 U Prilogu D.

Obrada prikupljenih odgovora u vezi ponašanja izvršeno je na isti način kao i obrada odgovora u vezi percepcije. Svakojezičkoj promenljivoj kojom su učesnici u anketi prijavili učestalost određenih ponašanja u saobraćaju, dodeljeni su odgovarajući sivi brojevi. Na taj način obrađena je nesigurnost koja se ogleda u subjektivnosti mišljenja vozača o sopstvenom ponašanju. Smer podataka je određen tako da veća vrednost predstavlja pozitivno ponašanje pa je pri dodeli sivih brojeva odgovorima svakog pitanja potrebno zadržati taj princip. Imajući to na umu, odgovori na pitanja A2, A3, A4, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, T2 i T3 kodiraju se prema sivim brojevima pozitivnog smera prikazanim u Tabeli 20 dok se odgovori na pitanja V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, T4 i T5 kodiraju prema sivim brojevima negativnog smera, a koji su takođe dati u Tabeli 20. Sivi brojevi za A1 dodeljeni su prema Tabeli 21, za P1 i T1 prema Tabeli 22 za pozitivan i negativan smer, respektivno.

Konačna vrednost sivog broja za određeno pitanje u nekoj opštini predstavlja srednju vrednost svih sivih brojeva kojima je opisano ponašanje za analizirano pitanje u posmatranoj opštini, a primenjujući operacije sa sivim brojevima (opisane u poglavlju 4.1.2.). Na ovaj način, svaka opština je opisana setom od 28 sivih brojeva koji odgovaraju pitanjima iz ankete a prikazani su u Tabelama 23–26.

Tabela 20. Učestalost ponašanja i njima odgovarajući sivi brojevi

Lingvistička promenljiva	Oznaka	Sivi broj ⊗ - pozitivan smer	Sivi broj ⊗ - negativan smer
Nikad	N	[0.0, 0.1]	[0.9, 1.0]
Retko	R	[0.1, 0.2]	[0.7, 0.9]
Ponekad	P	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.7]
Često	Č	[0.4, 0.7]	[0.2, 0.4]
Veoma često	VČ	[0.7, 0.9]	[0.1, 0.2]
Uvek	U	[0.9, 1.0]	[0.0, 0.1]

Tabela 21. Samoprijavljeno ponašanje i njima odgovarajući sivi brojevi

Lingvistička promenljiva	Oznaka	Sivi broj ⊗
Ne vozim kada konzumiram alkohol	N	[0.6, 1.0]
Da, nakon manjih količina alkohola	D	[0.2, 0.6]
Da, bez obzira na količinu	DD	[0.0, 0.1]

Tabela 22. Samoprijavljeno ponašanje i njima odgovarajući sivi brojevi

Lingvistička promenljiva	Oznaka	Sivi broj ⊗ - pozitivan smer	Sivi broj ⊗ - negativan smer
Ne	N	[0.0, 0.5]	[0.5, 1.0]
Da	D	[0.5, 1.0]	[0.0, 0.5]

Tabela 23. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: vožnja brzinom većom od dozvoljene

Opština	⊗V1	⊗V2	⊗V3	⊗V4	⊗V5	⊗V6	⊗V7	⊗V8	⊗V9
Andrijevica	[0,623, 0,813]	[0,654, 0,833]	[0,718, 0,879]	[0,762, 0,923]	[0,597, 0,777]	[0,636, 0,813]	[0,528, 0,710]	[0,587, 0,756]	[0,664, 0,836]
Bar	[0,652, 0,848]	[0,680, 0,861]	[0,769, 0,924]	[0,736, 0,898]	[0,713, 0,881]	[0,739, 0,902]	[0,693, 0,870]	[0,680, 0,859]	[0,652, 0,823]
Berane	[0,632, 0,829]	[0,677, 0,858]	[0,726, 0,894]	[0,787, 0,939]	[0,577, 0,771]	[0,639, 0,826]	[0,530, 0,707]	[0,655, 0,832]	[0,694, 0,858]
Bijelo Polje	[0,530, 0,753]	[0,654, 0,841]	[0,729, 0,889]	[0,705, 0,876]	[0,560, 0,771]	[0,644, 0,829]	[0,559, 0,764]	[0,732, 0,892]	[0,682, 0,856]
Budva	[0,444, 0,636]	[0,439, 0,622]	[0,575, 0,746]	[0,569, 0,749]	[0,328, 0,500]	[0,529, 0,713]	[0,318, 0,499]	[0,534, 0,722]	[0,348, 0,526]
Cetinje	[0,681, 0,849]	[0,619, 0,804]	[0,655, 0,815]	[0,679, 0,849]	[0,711, 0,868]	[0,700, 0,874]	[0,702, 0,864]	[0,628, 0,804]	[0,657, 0,817]
Danilovgrad	[0,580, 0,787]	[0,743, 0,910]	[0,762, 0,917]	[0,820, 0,960]	[0,643, 0,823]	[0,713, 0,883]	[0,600, 0,790]	[0,780, 0,930]	[0,680, 0,857]
Herceg Novi	[0,439, 0,609]	[0,516, 0,696]	[0,555, 0,732]	[0,497, 0,658]	[0,325, 0,500]	[0,467, 0,662]	[0,254, 0,442]	[0,559, 0,746]	[0,304, 0,475]
Kolašin	[0,560, 0,765]	[0,665, 0,855]	[0,740, 0,908]	[0,715, 0,893]	[0,683, 0,850]	[0,670, 0,863]	[0,630, 0,843]	[0,795, 0,945]	[0,758, 0,925]
Kotor	[0,391, 0,570]	[0,479, 0,658]	[0,617, 0,780]	[0,573, 0,746]	[0,355, 0,510]	[0,549, 0,739]	[0,331, 0,498]	[0,652, 0,821]	[0,385, 0,544]
Mojkovac	[0,588, 0,763]	[0,600, 0,769]	[0,725, 0,888]	[0,738, 0,894]	[0,569, 0,763]	[0,613, 0,756]	[0,444, 0,631]	[0,625, 0,788]	[0,606, 0,775]
Nikšić	[0,586, 0,788]	[0,625, 0,817]	[0,667, 0,847]	[0,683, 0,856]	[0,603, 0,786]	[0,675, 0,848]	[0,623, 0,810]	[0,637, 0,816]	[0,613, 0,793]
Plav	[0,368, 0,583]	[0,520, 0,738]	[0,563, 0,783]	[0,635, 0,823]	[0,553, 0,745]	[0,583, 0,800]	[0,545, 0,763]	[0,580, 0,805]	[0,526, 0,742]
Plijevlja	[0,571, 0,760]	[0,638, 0,831]	[0,642, 0,814]	[0,654, 0,827]	[0,446, 0,635]	[0,698, 0,873]	[0,563, 0,754]	[0,663, 0,842]	[0,525, 0,717]
Plužine	[0,598, 0,800]	[0,730, 0,893]	[0,786, 0,934]	[0,761, 0,911]	[0,670, 0,845]	[0,716, 0,878]	[0,591, 0,782]	[0,769, 0,917]	[0,682, 0,864]
Podgorica	[0,530, 0,741]	[0,628, 0,816]	[0,703, 0,868]	[0,700, 0,862]	[0,542, 0,746]	[0,668, 0,847]	[0,567, 0,770]	[0,659, 0,836]	[0,594, 0,786]
Rožaje	[0,485, 0,700]	[0,687, 0,864]	[0,803, 0,946]	[0,713, 0,874]	[0,459, 0,631]	[0,564, 0,751]	[0,515, 0,695]	[0,656, 0,808]	[0,546, 0,682]
Šavnik	[0,622, 0,826]	[0,726, 0,900]	[0,759, 0,919]	[0,774, 0,922]	[0,722, 0,904]	[0,729, 0,896]	[0,656, 0,841]	[0,733, 0,893]	[0,700, 0,878]
Tivat	[0,475, 0,664]	[0,564, 0,744]	[0,725, 0,900]	[0,653, 0,828]	[0,444, 0,633]	[0,676, 0,824]	[0,469, 0,653]	[0,744, 0,883]	[0,489, 0,661]
Ulcinj	[0,379, 0,603]	[0,554, 0,772]	[0,582, 0,795]	[0,672, 0,859]	[0,569, 0,762]	[0,587, 0,803]	[0,526, 0,749]	[0,562, 0,792]	[0,513, 0,726]
Žabljak	[0,504, 0,727]	[0,508, 0,719]	[0,677, 0,854]	[0,454, 0,646]	[0,358, 0,527]	[0,492, 0,688]	[0,392, 0,565]	[0,550, 0,764]	[0,396, 0,573]

Tabela 25. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: upotreba telefona u toku vožnje

Opština	⊗T1	⊗T2	⊗T3	⊗T4	⊗T5
Andrijevica	[0,269, 0,769]	[0,062, 0,192]	[0,056, 0,182]	[0,782, 0,841]	[0,823, 0,821]
Bar	[0,331, 0,831]	[0,165, 0,276]	[0,129, 0,237]	[0,774, 0,766]	[0,784, 0,810]
Berane	[0,298, 0,798]	[0,065, 0,194]	[0,055, 0,177]	[0,816, 0,861]	[0,777, 0,706]
Bijelo Polje	[0,247, 0,747]	[0,160, 0,295]	[0,163, 0,291]	[0,751, 0,785]	[0,768, 0,799]
Budva	[0,118, 0,618]	[0,115, 0,225]	[0,079, 0,185]	[0,649, 0,797]	[0,508, 0,814]
Cetinje	[0,142, 0,642]	[0,113, 0,236]	[0,145, 0,268]	[0,679, 0,723]	[0,672, 0,783]
Danilovgrad	[0,383, 0,883]	[0,043, 0,160]	[0,033, 0,147]	[0,767, 0,783]	[0,752, 0,821]
Herceg Novi	[0,152, 0,652]	[0,209, 0,338]	[0,151, 0,281]	[0,677, 0,751]	[0,613, 0,810]
Kolašin	[0,150, 0,650]	[0,090, 0,213]	[0,075, 0,198]	[0,700, 0,695]	[0,695, 0,723]
Kotor	[0,186, 0,686]	[0,125, 0,240]	[0,102, 0,216]	[0,794, 0,796]	[0,693, 0,836]
Mojkovac	[0,281, 0,781]	[0,244, 0,406]	[0,275, 0,425]	[0,781, 0,788]	[0,781, 0,788]
Nikšić	[0,229, 0,729]	[0,089, 0,207]	[0,051, 0,163]	[0,719, 0,728]	[0,722, 0,760]
Plav	[0,150, 0,650]	[0,045, 0,145]	[0,000, 0,100]	[0,530, 0,610]	[0,475, 0,648]
Pijevlja	[0,382, 0,882]	[0,068, 0,174]	[0,074, 0,179]	[0,847, 0,863]	[0,832, 0,882]
Plužine	[0,227, 0,727]	[0,075, 0,186]	[0,059, 0,173]	[0,677, 0,743]	[0,624, 0,827]
Podgorica	[0,245, 0,745]	[0,146, 0,276]	[0,137, 0,267]	[0,765, 0,760]	[0,757, 0,768]
Rožaje	[0,218, 0,718]	[0,090, 0,190]	[0,049, 0,154]	[0,587, 0,713]	[0,603, 0,774]
Šavnik	[0,222, 0,722]	[0,089, 0,204]	[0,085, 0,200]	[0,807, 0,785]	[0,826, 0,807]
Tivat	[0,125, 0,625]	[0,097, 0,214]	[0,081, 0,189]	[0,747, 0,753]	[0,536, 0,669]
Ulcinj	[0,179, 0,679]	[0,151, 0,259]	[0,105, 0,213]	[0,605, 0,751]	[0,577, 0,731]
Žabljak	[0,115, 0,615]	[0,104, 0,204]	[0,104, 0,204]	[0,719, 0,750]	[0,631, 0,827]

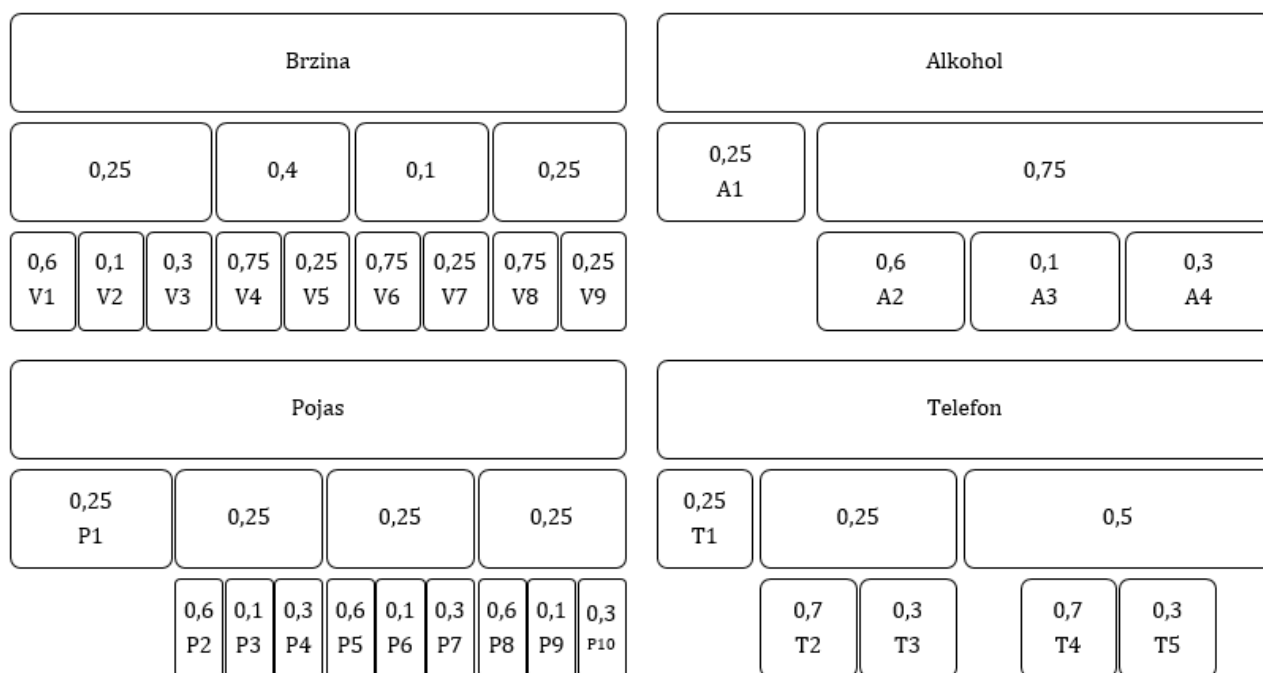
Tabela 24. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: vožnja pod uticajem alkohola

Opština	⊗A1	⊗A2	⊗A3	⊗A4
Andrijevica	[0,456, 0,841]	[0,815, 0,954]	[0,790, 0,928]	[0,769, 0,897]
Bar	[0,519, 0,905]	[0,873, 0,985]	[0,852, 0,968]	[0,845, 0,963]
Berane	[0,452, 0,842]	[0,823, 0,958]	[0,777, 0,913]	[0,752, 0,881]
Bijelo Polje	[0,547, 0,944]	[0,863, 0,979]	[0,856, 0,976]	[0,848, 0,970]
Budva	[0,467, 0,850]	[0,811, 0,938]	[0,756, 0,892]	[0,708, 0,851]
Cetinje	[0,404, 0,770]	[0,757, 0,898]	[0,723, 0,860]	[0,742, 0,888]
Danilovgrad	[0,573, 0,973]	[0,880, 0,990]	[0,873, 0,987]	[0,880, 0,990]
Herceg Novi	[0,472, 0,872]	[0,806, 0,939]	[0,733, 0,886]	[0,654, 0,788]
Kolašin	[0,480, 0,865]	[0,840, 0,963]	[0,815, 0,948]	[0,803, 0,935]
Kotor	[0,395, 0,760]	[0,810, 0,944]	[0,728, 0,880]	[0,632, 0,779]
Mojkovac	[0,525, 0,925]	[0,875, 0,988]	[0,863, 0,981]	[0,875, 0,988]
Nikšić	[0,505, 0,896]	[0,839, 0,962]	[0,818, 0,950]	[0,799, 0,937]
Plav	[0,530, 0,930]	[0,885, 0,993]	[0,880, 0,990]	[0,818, 0,943]
Pijevlja	[0,529, 0,923]	[0,848, 0,963]	[0,844, 0,965]	[0,804, 0,929]
Plužine	[0,564, 0,964]	[0,868, 0,982]	[0,855, 0,975]	[0,859, 0,977]
Podgorica	[0,505, 0,897]	[0,858, 0,971]	[0,840, 0,960]	[0,830, 0,954]
Rožaje	[0,518, 0,903]	[0,864, 0,974]	[0,859, 0,977]	[0,821, 0,938]
Šavnik	[0,556, 0,956]	[0,863, 0,978]	[0,848, 0,970]	[0,837, 0,963]
Tivat	[0,443, 0,786]	[0,839, 0,947]	[0,700, 0,839]	[0,578, 0,733]
Ulcinj	[0,538, 0,938]	[0,882, 0,990]	[0,877, 0,987]	[0,828, 0,949]
Žabljak	[0,538, 0,938]	[0,854, 0,965]	[0,827, 0,950]	[0,792, 0,904]

Tabela 26. Vrednosti sivih brojeva ponašanja: upotreba sigurnosnog pojasa

Opština	⊗P1	⊗P2	⊗P3	⊗P4	⊗P5	⊗P6	⊗P7	⊗P8	⊗P9	⊗P10
Andrijevica	[0,397, 0,897]	[0,495, 0,633]	[0,456, 0,592]	[0,538, 0,674]	[0,369, 0,528]	[0,364, 0,515]	[0,367, 0,500]	[0,533, 0,658]	[0,533, 0,653]	[0,513, 0,634]
Bar	[0,484, 0,984]	[0,768, 0,898]	[0,700, 0,850]	[0,697, 0,840]	[0,653, 0,803]	[0,611, 0,768]	[0,602, 0,760]	[0,478, 0,604]	[0,464, 0,593]	[0,593, 0,711]
Berane	[0,387, 0,887]	[0,503, 0,645]	[0,526, 0,668]	[0,497, 0,626]	[0,510, 0,652]	[0,406, 0,555]	[0,345, 0,474]	[0,481, 0,614]	[0,481, 0,610]	[0,458, 0,589]
Bijelo Polje	[0,454, 0,954]	[0,675, 0,831]	[0,614, 0,759]	[0,589, 0,726]	[0,616, 0,784]	[0,507, 0,685]	[0,463, 0,641]	[0,576, 0,738]	[0,550, 0,710]	[0,553, 0,707]
Budva	[0,375, 0,875]	[0,611, 0,743]	[0,554, 0,696]	[0,393, 0,554]	[0,524, 0,667]	[0,501, 0,660]	[0,350, 0,515]	[0,543, 0,654]	[0,543, 0,654]	[0,511, 0,629]
Cetinje	[0,377, 0,877]	[0,528, 0,660]	[0,426, 0,568]	[0,294, 0,412]	[0,375, 0,511]	[0,364, 0,523]	[0,268, 0,411]	[0,591, 0,704]	[0,593, 0,724]	[0,473, 0,611]
Danilovgrad	[0,417, 0,917]	[0,627, 0,767]	[0,590, 0,727]	[0,557, 0,700]	[0,537, 0,693]	[0,507, 0,643]	[0,518, 0,654]	[0,406, 0,550]	[0,400, 0,544]	[0,406, 0,550]
Herceg Novi	[0,333, 0,804]	[0,672, 0,804]	[0,572, 0,712]	[0,587, 0,712]	[0,677, 0,816]	[0,567, 0,701]	[0,539, 0,659]	[0,714, 0,853]	[0,714, 0,853]	[0,700, 0,842]
Kolašin	[0,313, 0,813]	[0,728, 0,850]	[0,565, 0,710]	[0,443, 0,593]	[0,708, 0,838]	[0,585, 0,735]	[0,515, 0,663]	[0,755, 0,880]	[0,650, 0,783]	[0,683, 0,804]
Kotor	[0,471, 0,971]	[0,851, 0,957]	[0,753, 0,871]	[0,663, 0,777]	[0,839, 0,950]	[0,775, 0,898]	[0,687, 0,810]	[0,822, 0,927]	[0,791, 0,904]	[0,679, 0,815]
Mojkovac	[0,469, 0,969]	[0,550, 0,694]	[0,488, 0,631]	[0,488, 0,631]	[0,431, 0,619]	[0,400, 0,581]	[0,400, 0,581]	[0,550, 0,708]	[0,550, 0,708]	[0,567, 0,733]
Nišić	[0,450, 0,950]	[0,696, 0,832]	[0,648, 0,787]	[0,608, 0,747]	[0,577, 0,734]	[0,517, 0,680]	[0,494, 0,660]	[0,664, 0,792]	[0,654, 0,783]	[0,636, 0,769]
Plav	[0,363, 0,863]	[0,588, 0,753]	[0,590, 0,755]	[0,613, 0,778]	[0,560, 0,728]	[0,588, 0,760]	[0,555, 0,728]	[0,508, 0,654]	[0,531, 0,669]	[0,692, 0,823]
Pljevlja	[0,302, 0,802]	[0,544, 0,692]	[0,535, 0,694]	[0,485, 0,646]	[0,496, 0,660]	[0,515, 0,683]	[0,490, 0,650]	[0,500, 0,635]	[0,476, 0,600]	[0,476, 0,600]
Plužine	[0,364, 0,864]	[0,564, 0,711]	[0,523, 0,666]	[0,493, 0,645]	[0,566, 0,718]	[0,554, 0,694]	[0,505, 0,657]	[0,222, 0,400]	[0,222, 0,400]	[0,217, 0,389]
Podgorica	[0,431, 0,931]	[0,633, 0,771]	[0,590, 0,730]	[0,550, 0,690]	[0,533, 0,684]	[0,491, 0,646]	[0,472, 0,622]	[0,558, 0,698]	[0,540, 0,679]	[0,532, 0,674]
Rožaje	[0,449, 0,949]	[0,528, 0,710]	[0,428, 0,577]	[0,369, 0,521]	[0,495, 0,623]	[0,495, 0,636]	[0,405, 0,551]	[0,238, 0,367]	[0,229, 0,348]	[0,186, 0,310]
Šavnik	[0,426, 0,926]	[0,619, 0,748]	[0,556, 0,696]	[0,615, 0,744]	[0,600, 0,733]	[0,567, 0,700]	[0,596, 0,730]	[0,344, 0,511]	[0,383, 0,544]	[0,361, 0,533]
Tivat	[0,458, 0,958]	[0,817, 0,950]	[0,708, 0,825]	[0,672, 0,778]	[0,833, 0,933]	[0,858, 0,975]	[0,650, 0,775]	[0,738, 0,879]	[0,738, 0,879]	[0,703, 0,845]
Ulcinj	[0,397, 0,897]	[0,662, 0,818]	[0,641, 0,790]	[0,528, 0,697]	[0,600, 0,749]	[0,597, 0,756]	[0,490, 0,669]	[0,608, 0,769]	[0,631, 0,785]	[0,631, 0,785]
Žabljak	[0,327, 0,827]	[0,685, 0,804]	[0,685, 0,804]	[0,535, 0,673]	[0,658, 0,788]	[0,631, 0,758]	[0,318, 0,476]	[0,533, 0,667]	[0,533, 0,667]	[0,483, 0,667]

Da bi se sva četiri analizirana rizična ponašanja opisala jednom vrednošću potrebno je agregirati sve pojedinačne vrednosti koje se tiču određenog ponašanja. Tako na primer, konačnu vrednost sivog broja za vožnju brzinom većom od dozvoljene predstavljaće agregatna vrednost svih sivih brojeva kojima su opisana pitanja V1–V9. Ova vrednost može se dobiti proračunom srednje vrednosti, međutim s ciljem da se napravi razlika između pitanja, a u odnosu i na različite kategorije puteva, agregatna vrednost dobijena je računanjem ponderisane sume. Analizirajući broj saobraćajnih nezgoda i broj poginulih u Crnoj Gori u poslednjih deset godina u zavisnosti od kategorije puta, svim pitanjima su dodeljeni težinski koeficijenti, kako je prikazano na Slici 6. Zatim je izvršeno beljenje dobijenih agregatnih vrednosti sivih brojeva.



Slika 6. Unutrašnji težinski koeficijenti

Tako dobijeni izbeljeni brojevi predstavljaju drugi set ulaznih podataka na prvom nivou višeslojne DEA analize koje pripadaju podkategoriji ponašanja u domenu „čovek“.

Konačno, ovi podaci pogodni su za dalju manipulaciju prilikom kreiranja kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja. Vrednosti sivih brojeva i njihove odgovarajuće izbeljene vrednosti prikazane su u Tabeli 27.

Kao što je već rečeno u prethodnom poglavlju, da bi se sprovela višeslojna analiza obavljanja podataka, sve podatke je potrebno prethodno transformisati. U tu svrhu, a primenjujući formulu (6), sprovedena je linearna-max transformacija. Transformisane vrednosti indikatora su prikazane u Tabeli 28.

Tabela 27. Konačne vrednosti izabranih ponašanja

	Sivi brojevi ⊗				Izbeljena vrednost sivog broja (<i>crisp</i>)			
	⊗Brzina	⊗Alkohol	⊗Pojas	⊗Telefon	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
Andrijevića	[0,664, 0,836]	[0,392, 0,535]	[0,449, 0,677]	[0,479, 0,657]	0,750	0,464	0,563	0,568
Bar	[0,706, 0,878]	[0,429, 0,565]	[0,592, 0,821]	[0,510, 0,663]	0,792	0,497	0,706	0,586
Berane	[0,687, 0,861]	[0,392, 0,535]	[0,454, 0,681]	[0,492, 0,654]	0,774	0,464	0,567	0,573
Bijelo Polje	[0,660, 0,842]	[0,434, 0,573]	[0,556, 0,801]	[0,480, 0,655]	0,751	0,503	0,678	0,567
Budva	[0,494, 0,676]	[0,389, 0,530]	[0,479, 0,706]	[0,359, 0,609]	0,585	0,459	0,593	0,484
Cetinje	[0,671, 0,839]	[0,361, 0,501]	[0,431, 0,654]	[0,405, 0,592]	0,755	0,431	0,542	0,498
Danilovgrad	[0,730, 0,894]	[0,447, 0,585]	[0,488, 0,721]	[0,487, 0,657]	0,812	0,516	0,605	0,572
Herceg Novi	[0,467, 0,641]	[0,385, 0,532]	[0,576, 0,795]	[0,415, 0,628]	0,554	0,458	0,685	0,521
Kolašin	[0,701, 0,878]	[0,407, 0,546]	[0,575, 0,798]	[0,408, 0,566]	0,789	0,477	0,687	0,487
Kotor	[0,520, 0,691]	[0,366, 0,504]	[0,705, 0,915]	[0,458, 0,634]	0,606	0,435	0,810	0,546
Mojkovac	[0,648, 0,813]	[0,433, 0,572]	[0,492, 0,739]	[0,524, 0,692]	0,730	0,502	0,616	0,608
Nikšić	[0,643, 0,824]	[0,413, 0,554]	[0,579, 0,811]	[0,437, 0,600]	0,733	0,484	0,695	0,518
Plav	[0,555, 0,762]	[0,433, 0,572]	[0,521, 0,765]	[0,302, 0,506]	0,659	0,502	0,643	0,404
Pljevlja	[0,614, 0,794]	[0,422, 0,561]	[0,453, 0,690]	[0,534, 0,699]	0,704	0,491	0,572	0,616
Plužine	[0,718, 0,882]	[0,440, 0,579]	[0,417, 0,661]	[0,405, 0,612]	0,800	0,509	0,539	0,508
Podgorica	[0,637, 0,818]	[0,420, 0,558]	[0,523, 0,756]	[0,478, 0,636]	0,728	0,489	0,640	0,557
Rožaje	[0,622, 0,791]	[0,425, 0,559]	[0,402, 0,635]	[0,370, 0,590]	0,706	0,492	0,518	0,480
Šavnik	[0,731, 0,897]	[0,439, 0,579]	[0,496, 0,729]	[0,484, 0,627]	0,814	0,509	0,613	0,556
Tivat	[0,612, 0,782]	[0,382, 0,508]	[0,682, 0,901]	[0,396, 0,572]	0,697	0,445	0,792	0,484
Ulcinj	[0,567, 0,776]	[0,435, 0,573]	[0,550, 0,794]	[0,378, 0,604]	0,672	0,504	0,672	0,491
Žabljak	[0,486, 0,682]	[0,425, 0,563]	[0,429, 0,637]	[0,401, 0,591]	0,584	0,494	0,533	0,496

Tabela 28. Normalizovane vrednosti izabranih ponašanja

	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
Andrijevića	0,921	0,899	0,695	0,922
Bar	0,973	0,963	0,872	0,951
Berane	0,951	0,899	0,700	0,930
Bijelo Polje	0,923	0,975	0,837	0,920
Budva	0,719	0,890	0,732	0,786
Cetinje	0,928	0,835	0,669	0,808
Danilovgrad	0,998	1,000	0,747	0,929
Herceg Novi	0,681	0,888	0,846	0,846
Kolašin	0,969	0,924	0,848	0,791
Kotor	0,744	0,843	1,000	0,886
Mojkovac	0,897	0,973	0,760	0,987
Nikšić	0,900	0,938	0,858	0,841
Plav	0,810	0,973	0,794	0,656
Pljevlja	0,865	0,952	0,706	1,000
Plužine	0,983	0,986	0,665	0,825
Podgorica	0,894	0,948	0,790	0,904
Rožaje	0,867	0,953	0,640	0,779
Šavnik	1,000	0,986	0,757	0,903
Tivat	0,856	0,862	0,978	0,786
Ulcinj	0,826	0,977	0,830	0,797
Žabljak	0,717	0,957	0,658	0,805

5.2.2. Vozilo

Drugi set ulaznih podataka čini domen „vozilo“. Dodatni pokazatelj kojim je opisan ovaj domen jeste pokazatelj sezonalnosti (više o ovom pokazatelju bilo je u poglavlju 4.1). S obzirom da u Crnoj Gori nema podataka o protoku vozila na putevima u pojedinačnim opštinama, kao ni podataka o saobraćajnom opterećenju u zavisnosti od perioda godine, stepen sezonalne varijacije saobraćaja je u ovoj disertaciji dobijen na osnovu ocene eksperata. Sproveden je upitnik u kom su učestvovali relevantni eksperti (profesori na Mašinskom fakultetu u Podgorici, smer Drumski saobraćaj) koji su sezonalnost u svakoj opštini ocenjivali ocenama od 1 do 5, pri čemu je ocena 1 dodeljena opštini u kojoj protok vozila uopšte ne zavisi od sezone, a ocena 5 dodeljena opštini koja predstavlja turističku destinaciju i u kojoj broj vozila na putevima u potpunosti zavisi od toga da li je u toku turistička sezona ili ne. Ovakve subjektivne ocene su takođe obrađene primenom sivih brojeva prema Tabeli 29. Ukupno je anketirano četiri eksperta (donosioci odluka, DO), a odgovori, njima odgovarajući sivi brojevi i agregatni sivi broj za svaku opštinu su dati u Tabeli 30.

Tabela 29. Lingvističke ocene uticaja sezonalnosti i odgovarajući sivi brojevi

Ocena sezonalne varijacije saobraćaja	Oznaka	Sivi broj \otimes
1 = Uopšte ne zavisi od sezone	N	[0.8, 1.0]
2 = Vrlo malo zavisi od sezone	VMS	[0.6, 0.8]
3 = Delimično zavisi od sezone	MS	[0.4, 0.6]
4 = Veoma zavisi od sezone	VVS	[0.2, 0.4]
5 = U potpunosti zavisi od sezone	S	[0.0, 0.2]

Vrednost dodeljenih sivih brojeva, a samim tim i konačne vrednosti pokazatelja, su definisani tako da je opštini na čijim putevima obim saobraćaja ne zavisi od sezone pripada veća vrednost ovog pokazatelja. Izbeljene vrednosti za pokazatelj sezonalnosti, uz druga dva pokazatelja kojima se opisuje domen „vozilo“ (stepen motorizacije definisan kao broj vozila na 1000 stanovnika (SM1) i broj vozila na 1 kilometar puta (SM2)) prikazani su u tabeli 31. Izvor podataka o stepenu motorizacije je Uprava za statistiku Crne Gore (Monstat).

Tabela 30. Ocene eksperata za uticaj sezone na varijaciju saobraćaja

	Jezičke promenljive				Sivi brojevi				\otimes
	DO1	DO2	DO3	DO4	\otimes DO1	\otimes DO2	\otimes DO3	\otimes DO4	
Andrijevića	N	VMS	VMS	N	[0.8, 1.0]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.8, 1.0]	[0.70, 0.90]
Bar	VVS	S	S	S	[0.2, 0.4]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.05, 0.25]
Berane	MS	VMS	VMS	VMS	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.55, 0.60]
Bijelo Polje	VVS	VVS	MS	MS	[0.2, 0.4]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.4, 0.6]	[0.30, 0.20]
Budva	S	S	S	S	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.00, 0.20]
Cetinje	S	VVS	VVS	VVS	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.2, 0.4]	[0.2, 0.4]	[0.15, 0.35]
Danilovgrad	VMS	VMS	VMS	MS	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.4, 0.6]	[0.55, 0.60]
Herceg Novi	S	S	S	MS	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.4, 0.6]	[0.10, 0.15]
Kolašin	S	VVS	VVS	MS	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.20, 0.25]
Kotor	S	S	S	VVS	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.05, 0.25]
Mojkovac	VVS	VVS	MS	MS	[0.2, 0.4]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.4, 0.6]	[0.30, 0.20]
Nikšić	S	VMS	VMS	VMS	[0.0, 0.2]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.45, 0.65]
Plav	VMS	VMS	MS	VMS	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.55, 0.60]
Pljevlja	MS	VMS	VMS	VMS	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.55, 0.60]
Plužine	S	MS	VMS	VMS	[0.0, 0.2]	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.40, 0.45]
Podgorica	MS	VMS	MS	VVS	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.4, 0.6]	[0.2, 0.4]	[0.40, 0.30]
Rožaje	S	VVS	MS	VMS	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.30, 0.35]
Šavnik	MS	VMS	VMS	VMS	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.6, 0.8]	[0.55, 0.60]
Tivat	S	S	S	VMS	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.6, 0.8]	[0.15, 0.35]
Ulcinj	S	VVS	S	VMS	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.0, 0.2]	[0.6, 0.8]	[0.20, 0.40]
Žabljak	S	S	VVS	MS	[0.0, 0.2]	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.15, 0.20]

Tabela 31. Konačne vrednosti svih indikatora koje pripadaju domenu „vozilo“

	Podaci			Transformisani podaci		
	SM1	SM2	Sezonalnost	SM1	SM2	Sezonalnost
Andrijevića	209,69	10,35	0,80	0,302	0,077	1,000
Bar	465,45	84,40	0,15	0,670	0,627	0,188
Berane	221,24	18,09	0,58	0,319	0,134	0,725
Bijelo Polje	236,73	28,00	0,25	0,341	0,208	0,313
Budva	694,26	120,53	0,10	1,000	0,896	0,125
Cetinje	390,81	14,66	0,25	0,563	0,109	0,313
Danilovgrad	296,14	42,21	0,58	0,427	0,314	0,725
Herceg Novi	452,30	113,75	0,13	0,651	0,846	0,163
Kolašin	233,45	3,92	0,23	0,336	0,029	0,288
Kotor	507,75	41,38	0,15	0,731	0,308	0,188
Mojkovac	212,13	23,60	0,25	0,306	0,175	0,313
Nikšić	301,71	47,72	0,55	0,435	0,355	0,688
Plav	185,71	6,98	0,58	0,267	0,052	0,725
Pljevlja	251,13	14,31	0,58	0,362	0,106	0,725
Plužine	229,51	2,11	0,43	0,331	0,016	0,538
Podgorica	447,13	85,21	0,35	0,644	0,633	0,438
Rožaje	225,03	20,62	0,33	0,324	0,153	0,413
Šavnik	159,58	1,68	0,58	0,230	0,012	0,725
Tivat	580,12	134,52	0,25	0,836	1,000	0,313
Ulcinj	436,86	50,25	0,30	0,629	0,374	0,375
Žabljak	261,32	4,17	0,18	0,376	0,031	0,225

Značaj implementacije indikatora o sezonalnosti obima saobraćaja u metodologiju za kreiranje konačnog kopozitnog indeksa verifikovana je korišćenjem Pirsonovog koeficijenta analizirajući korelaciju sa vrednostima tri javna rizika kao što su: broj saobraćajnih nezgoda (JR1), broj poginulih (JR2) i broj povređenih lica (JR3) posmatranih u odnosu na broj stanovnika. U Tabeli 32 su prikazane dobijene vrednosti koeficijenta korelacije a negativan znak pokazuje da veća vrednost indeksa sezonalnosti utiče na smanjenje posmatranih rizika. Drugim rečima, s obzirom na smer podataka (veća vrednost indikatora sezonalnosti ukazuje na manji uticaj sezone na obim saobraćaja na određenoj teritoriji) zaključuje se da opštine u kojima je prisutan priliv (stranih) vozila koja nisu registrovana na teritoriji Crne Gore imaju lošije performanse bezbednosti.

Tabela 32. Pirsonov koeficijent korelacije između mera javnog rizika i sezonalnosti

	JR1	JR2	JR3
Sezonalnost	-0,732	-0,405	-0,631

5.2.3. Infrastruktura

Na osnovu pregleda literature (Poglavlje 2), treći domen je domen „infrastruktura“. Ova oblast obuhvata dve podkategorije koje se tiču puta i okruženja, a u sklopu kojih su analizirana po tri indikatora. Gustina mreže (km/1000km²), procenat magistralnih i procenat regionalnih puteva su pokazatelji koji su klasifikovani u sklopu domena „put“. Procentualan udeo mladih lica (od 18 do 24 godine starosti) u strukturi stanovništva, gustina naseljenosti i indeks razvijenosti svake opštine predstavljaju pokazatelje kojima se opisuje podkategorija „okruženje“. Podaci o indeksu razvijenosti objavljuju se za period od tri godine. U odnosu na period koji se analizira u okviru ove doktorske disertacije (2017 – 2019), najpribližniji podaci o indeksu razvijenosti su oni koji su objavljeni za period od 2016. do 2018. godine, a čiji je izvor Ministarstvo ekonomije Crne Gore. Ostali podaci prikazani u Tabeli 33 su javno dostupni i

preuzeti su sa internet stranice Uprave za statistiku Crne Gore (Monstat). Nakon prikupljanja relevantnih podataka, kao i u prethodnim slučajevima, izvršena je transformacija njihovih vrednosti (Tabela 34).

Tabela 33. Konačne vrednosti svih indikatora koje pripadaju domenu „infrastruktura“

Opština	Put			Okruženje		
	Gustina mreže	% mag. puteva	% reg. puteva	Indeks razv.	% mladih	Gustina nas.
Andrijevića	362,90	0,32	0,10	41,56	8,80	18
Bar	387,79	0,19	0,18	100,36	9,51	70
Berane	579,50	0,09	0,13	58,32	10,10	47
Bijelo Polje	421,43	0,12	0,09	64,68	10,39	50
Budva	907,38	0,50	0,00	156,71	8,62	158
Cetinje	487,91	0,08	0,22	91,09	10,44	18
Danilovgrad	258,68	0,14	0,10	94,82	10,99	37
Herceg Novi	522,21	0,21	0,00	115,17	7,82	131
Kolašin	556,30	0,16	0,09	74,03	10,08	9
Kotor	827,76	0,18	0,21	118,73	8,86	67
Mojkovac	211,17	0,27	0,39	73,41	9,94	23
Nikšić	221,79	0,16	0,33	93,40	9,50	35
Plav	718,76	0,10	0,06	47,14	11,10	27
Pljevlja	401,49	0,08	0,24	78,47	8,30	23
Plužine	412,88	0,16	0,09	82,27	8,64	4
Podgorica	677,10	0,11	0,04	122,11	10,07	129
Rožaje	580,09	0,15	0,21	52,60	11,29	53
Šavnik	356,24	0,00	0,31	66,45	9,57	4
Tivat	1315,43	0,17	0,00	133,59	8,67	305
Ulcinj	679,22	0,20	0,18	83,31	10,05	78
Žabljak	502,02	0,00	0,27	89,89	9,67	8

Tabela 34. Normalizovane vrednosti indikatora koje pripadaju domenu „infrastruktura“

Opština	Put			Okruženje		
	Gustina mreže	% mag. puteva	% reg. puteva	Indeks razv.	% mladih	Gustina nas.
Andrijevića	0,276	0,641	0,252	0,265	0,779	0,059
Bar	0,295	0,380	0,468	0,640	0,842	0,230
Berane	0,441	0,187	0,323	0,372	0,894	0,154
Bijelo Polje	0,320	0,246	0,239	0,413	0,920	0,164
Budva	0,690	1,000	0,000	1,000	0,763	0,518
Cetinje	0,371	0,162	0,570	0,581	0,924	0,059
Danilovgrad	0,197	0,286	0,259	0,605	0,973	0,121
Herceg Novi	0,397	0,423	0,000	0,735	0,692	0,430
Kolašin	0,423	0,316	0,221	0,472	0,892	0,030
Kotor	0,629	0,367	0,540	0,758	0,785	0,220
Mojkovac	0,161	0,540	1,000	0,468	0,881	0,075
Nikšić	0,169	0,322	0,846	0,596	0,841	0,115
Plav	0,546	0,209	0,159	0,301	0,982	0,089
Pljevlja	0,305	0,151	0,621	0,501	0,735	0,075
Plužine	0,314	0,317	0,242	0,525	0,765	0,013
Podgorica	0,515	0,215	0,111	0,779	0,892	0,423
Rožaje	0,441	0,291	0,536	0,336	1,000	0,174
Šavnik	0,271	0,000	0,800	0,424	0,848	0,013
Tivat	1,000	0,330	0,000	0,852	0,768	1,000
Ulcinj	0,516	0,392	0,477	0,532	0,890	0,256
Žabljak	0,382	0,000	0,698	0,574	0,856	0,026

5.2.4. Konačni ishodi

Konačni ishodi (*final outcomes*) predstavljaju direktne (izlazne) pokazatelje koji se odnose na broj saobraćajnih nezgoda, njihovih posledica (smrtno stradala lica, teško i lakše povređena lica) i društvene troškove koji su nastali zbog toga (Koornstra et al., 2002).

U Tabeli 35 su prikazani podaci o saobraćajnim nezgodama i njihovim posledicama u Crnoj Gori i to kao prosek za tri godine (2017 – 2019), a koji su poslužili kao izlazni podaci *DEA* modela. Izabrani pokazatelji su: saobraćajne nezgode samo sa materijalnom štetom, saobraćajne nezgode sa poginulim licima, saobraćajne nezgode sa povređenim licima, broj poginulih i broj lica povređenih u saobraćajnim nezgodama na crnogorskim putevima.

S ciljem da se zadrži unapred utvrđen smer podataka, da veća vrednost predstavlja pozitivni učinak, korišćene su recipročne vrednosti konačnih ishoda. Osim toga, ulazno-orijentisana *DEA* koja je korišćena u ovom istraživanju teži što većoj količini izlaznih podataka sa što manjom količinom ulaznih, pa je i u tom smislu upotreba recipročnih vrednosti izlaznih podataka (konačnih ishoda) opravdana. Vrednosti se transformišu primenom formule (6) i prikazani su u Tabeli 36.

Tabela 35. Konačni ishodi

	Podaci					Recipročne vrednosti				
	SN samo sa materijalno m štetom	SN sa poginulim	SN sa povređenim	Poginuli	Povređeni	SN samo sa materijalno m štetom	SN sa poginulim	SN sa povređenim	Poginuli	Povređeni
Andrijevića	5	0	3	1	5	0,188	3,000	0,375	1,000	0,200
Bar	337	3	153	4	224	0,003	0,300	0,007	0,273	0,004
Berane	38	2	34	2	50	0,027	0,429	0,029	0,429	0,020
Bijelo Polje	99	2	73	2	111	0,010	0,500	0,014	0,500	0,009
Budva	261	3	99	3	145	0,004	0,375	0,010	0,300	0,007
Cetinje	65	3	52	3	72	0,015	0,375	0,019	0,375	0,014
Danilovgrad	62	3	56	3	96	0,016	0,375	0,018	0,375	0,010
Herceg Novi	284	1	75	1	95	0,004	1,500	0,013	1,500	0,011
Kolašin	87	3	52	3	83	0,012	0,375	0,019	0,375	0,012
Kotor	278	4	86	5	117	0,004	0,231	0,012	0,214	0,009
Mojkovac	30	2	28	2	46	0,034	0,500	0,036	0,500	0,022
Nikšić	554	5	168	5	247	0,002	0,214	0,006	0,188	0,004
Plav	5	1	9	1	13	0,188	1,500	0,115	1,500	0,075
Pljevlja	59	0	33	1	62	0,017	3,000	0,030	1,000	0,016
Plužine	19	0	7	1	10	0,054	5,000	0,136	1,000	0,103
Podgorica	1512	13	729	16	1051	0,001	0,075	0,001	0,064	0,001
Rožaje	47	1	24	1	37	0,021	1,500	0,041	1,500	0,027
Šavnik	8	0	3	1	5	0,125	5,000	0,375	1,000	0,214
Tivat	128	0	54	1	70	0,008	3,000	0,019	1,000	0,014
Ulcinj	142	1	71	1	97	0,007	0,750	0,014	0,750	0,010
Žabljak	29	1	13	1	19	0,035	0,750	0,077	0,750	0,052

Tabela 36. Normalizovane vrednosti indikatora koje pripadaju domenu „konačni ishodi“

	SN samo sa materijalno m štetom	SN sa poginulim	SN sa povređenim	Poginuli	Povređeni
Andrijevića	1,000	0,600	1,000	0,667	0,933
Bar	0,016	0,060	0,017	0,182	0,021
Berane	0,142	0,086	0,078	0,286	0,093
Bijelo Polje	0,054	0,100	0,037	0,333	0,042
Budva	0,020	0,075	0,027	0,200	0,032
Cetinje	0,082	0,075	0,051	0,250	0,065
Danilovgrad	0,086	0,075	0,048	0,250	0,049
Herceg Novi	0,019	0,300	0,035	1,000	0,049
Kolašin	0,062	0,075	0,051	0,250	0,056
Kotor	0,019	0,046	0,031	0,143	0,040
Mojkovac	0,180	0,100	0,095	0,333	0,101
Nikšić	0,010	0,043	0,016	0,125	0,019
Plav	1,000	0,300	0,308	1,000	0,350
Pljevlja	0,090	0,600	0,080	0,667	0,075
Plužine	0,286	1,000	0,364	0,667	0,483
Podgorica	0,004	0,015	0,004	0,043	0,004
Rožaje	0,113	0,300	0,110	1,000	0,127
Šavnik	0,667	1,000	1,000	0,667	1,000
Tivat	0,042	0,600	0,049	0,667	0,067
Ulcinj	0,038	0,150	0,038	0,500	0,048
Žabljak	0,186	0,150	0,205	0,500	0,241

5.3. Konačni iDEA indeks bezbednosti opština u Crnoj Gori

Prateći detaljno korak po korak predloženu metodologiju, vrednosti svih izabranih indikatora koji su predstavljeni u prethodnim poglavljima (Slika E1, Prilog E) su kombinovani s ciljem da se bezbednost saobraćaja u 21 crnogorskoj opštini opiše jednim sveobuhvatnim indeksom.

Nakon utvrđivanja hijerarhije između izabranih indikatora i validacije njihovih vrednosti (Tabele E1 i E2 u Prilogu E) primenjena je analiza obavljanja podataka (*DEA*). Implementirana je *DEA* verzija koju je predložio Shen et al. (2011b), a koja je pogodna za ponderisanje i agregaciju ulaznih i izlaznih veličina koje su smeštene na više nivoa. Za svaku od analiziranih opština, a prema *MLDEA* modelu predstavljenom u poglavlju 4.2.1. definisana je zasebna funkcija linearnog programiranja. Konačno, nakon 21 iteracije, konstruisana je matrica unakrsne efikasnosti (*CEM*). U prvoj koloni *CEM* matrice na prvom mestu se nalazi ocena relativne efikasnosti prve teritorije koja se analizira (u ovom slučaju Andrijevića), a koja je dobijena pokretanjem *MLDEA* modela i određivanjem optimalnih pondera koji će njenu efikasnost maksimizirati. Koristeći iste optimalne pondere (za opštinu Andrijevića) izračunate su efikasnosti svih ostalih opština popunjavajući na taj način prvu kolonu matrice do kraja. Na isti način su dobijene i ostale vrednosti unakrsnih efikasnosti. Ocene koje se nalaze na dijagonali predstavljaju ocenu sopstvene efikasnosti (dobijene samoevaluacijom) dok ostale predstavljaju *peer* efikasnosti.

Dok neefikasno ocenjene teritorije imaju jedinstvene optimalne pondere, to nije slučaj sa teritorijama čija je efikasnost jednaka jedinici. Ukoliko se ne uvedu dodatna ograničenja izbor seta optimalnih pondera zavisice pre svega od softverskog rešenja koje se koristi (Cooper et al., 2007), a što dalje utiče na konačnu ocenu teritorije koja se dobija agregacijom svih efikasnosti iz matrice unakrsnih efikasnosti. Stoga, kao sledeći korak, primenjena je metodologija za

dobijanje jedinstvenog seta efikasnih jedinica odlučivanja koja je predstavljena u poglavlju 4.2.2. ove doktorske disertacije i koja se sastoji iz dve faze. U prvoj fazi (jednačina 24) se traže oni setovi optimalnih pondera koji daju najveći broj efikasnih teritorija, a zatim se u drugoj fazi (jednačina 25) od tako dobijenih setova bira onaj koji maksimizira najmanju vrednost virtualne promenljive. Ovako izračunati optimalni ponderi se dalje koriste za proračun *peer* efikasnosti ostalih teritorija. Konačno, matrica unakrsnih efikasnosti dobijena kombinacijom *MLDEA* i metode za izbor optimalnih pondera efikasnih jedinica odlučivanja prikazana je u Tabeli 37 (optimalni ponderi dobijeni obema metodama dati su u Tabelama F1–F4 u Prilogu F).

Sve vrednosti u matrici unakrsne efikasnosti su u intervalu između jedan i nula, gde vrednosti od 1 ukazuju na relativno efikasnu teritoriju, dok teritorije sa ocenom manjom od 1 ukazuju na neefikasne opštine koje bi trebalo da poboljšaju nivo bezbednosti na putevima. S obzirom na smer vrednosti korišćenih indikatora, veća vrednost efikasnosti ukazuje na uspešniju teritoriju, odnosno na opštinu sa većim nivoom bezbednosti saobraćaja. U tom smislu, manje vrednosti dodeljenih pondera (ponderisanih ulaza/izlaza) pokazuju kritičniju oblast i aspekt bezbednosti koji bi se trebalo unaprediti kako bi se poboljšala konačna relativna efikasnost teritorije.

U sledećem koraku metodologije pristupa se ponderisanoj agregaciji matrice unakrsne efikasnosti metodom razvijenom u sklopu ove doktorske disertacije. Kako ne bi došlo do gubitka povezanosti krajnje ocene sa *MLDEA* težinskim koeficijentima, pre agregacije izvršeno je ponderisanje matrice unakrsne efikasnosti. U tu svrhu primenjena je *FANMA* metoda objektivnog ponderisanja (formule 34–43) koja je najefikasnija kada je u pitanju mali broj teritorija, a što je i ovde slučaj. Sve izračunate *FANMA* vrednosti prikazane su u prvom redu u Tabeli 38.

Zatim, u cilju dobijanja jedinstvene ocene za svaku analiziranu teritoriju, prateći postupak prikazan u poglavlju 4.2.3. izvršena je agregacija primenom sive relacione analize (*GRA*). Prema definisanim koracima metodologije, a nakon normalizacije matrice unakrsne efikasnosti (Tabela F5, Prilog F), prvo se vrši proračun apsolutnih vrednosti matrice (Tabela F6, Prilog F) i određuje referentni set. S obzirom da referentni set predstavlja idealnu virtualnu vrednost, a u ovom slučaju idealna vrednost efikasnosti je 1, referentni set je onaj čije su sve vrednosti jednake jedinici. Zatim se primenom formula (30) – (31) računa sivi relacioni koeficijent koji predstavlja meru udaljenosti normalizovanih efikasnosti od referentnog seta (Tabela 38). Konačno, primenjujući formulu (33) sivi relacioni koeficijenti i *FANMA* ponderi se agregiraju u sivi relacioni stepen γ . Normalizovani sivi relacioni stepen predstavlja konačni indeks ove integrisane metodologije i konačnu *iDEA* ocenu bezbednosti saobraćaja svih opština u Crnoj Gori. Na ovaj način izračunate ocene svih teritorija prikazane su u Tabeli 39.

Osim *iDEA* indeksa, u Tabeli 39 je prikazana i vrednost efikasnosti dobijena samo primenom višeslojne analize obavljanja podataka (*MLDEA*), bez predloženih nadgradnji u vidu izbora optimalnih pondera efikasnih jedinica i agregacije otežane matrice unakrsnih efikasnosti. Prema ovom modelu čak sedam opština (Andrijevića, Herceg Novi, Plav, Plužine, Šavnik, Tivat i Žabljak) je ocenjeno kao efikasno dok ostale teritorije, u odnosu na zadata ograničenja, nisu uspele da postignu ocenu 1. S obzirom na rezultat, navedene opštine se ne mogu međusobno uporediti što sprečava uspostavljanje konačnog ranga. Primenom predložene integrisane metodologije taj nedostatak je prevaziđen: od svih analiziranih teritorija samo se jedna izdvojila kao efikasna pa je dalje sprovedeno potpuno rangiranje koje je takođe prikazano u Tabeli 39.

Tabela 37. Matrica unakrsne efikasnosti – CEM

CE	Andrijevica	Bar	Berane	Bijelo Polje	Budva	Cetinje	Danilovgrad	Herceg Novi	Kolašin	Kotor	Mojkovac	Nikšić	Plav	Pljevlja	Plužine	Podgorica	Rožaje	Šavnik	Tivat	Ulcinj	Žabljak
Andrijevica	1,000	0,994	0,611	0,857	0,851	0,613	0,994	1,000	0,529	0,683	0,978	0,978	1,000	0,960	1,000	0,833	1,000	1,000	0,820	0,670	0,303
Bar	0,086	0,245	0,191	0,188	0,208	0,183	0,245	0,086	0,207	0,200	0,246	0,246	0,086	0,211	0,086	0,184	0,086	0,086	0,132	0,183	0,187
Berane	0,208	0,261	0,324	0,292	0,186	0,250	0,261	0,208	0,234	0,139	0,262	0,262	0,208	0,310	0,208	0,285	0,208	0,208	0,231	0,285	0,162
Bijelo Polje	0,252	0,414	0,391	0,467	0,271	0,365	0,414	0,253	0,423	0,241	0,418	0,418	0,253	0,386	0,252	0,332	0,252	0,250	0,264	0,342	0,313
Budva	0,119	0,115	0,119	0,143	0,375	0,120	0,115	0,120	0,147	0,346	0,116	0,116	0,120	0,150	0,120	0,201	0,120	0,118	0,211	0,196	0,121
Cetinje	0,140	0,269	0,313	0,286	0,297	0,411	0,269	0,141	0,395	0,248	0,273	0,273	0,141	0,304	0,141	0,251	0,141	0,140	0,187	0,261	0,277
Danilovgrad	0,163	0,506	0,314	0,343	0,125	0,229	0,506	0,162	0,222	0,093	0,509	0,509	0,162	0,321	0,162	0,249	0,162	0,162	0,191	0,247	0,127
Herceg Novi	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,684	1,000	1,000	0,838	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kolašin	0,213	0,236	0,258	0,339	0,280	0,462	0,236	0,215	0,571	0,253	0,240	0,240	0,215	0,303	0,215	0,249	0,215	0,212	0,209	0,265	0,236
Kotor	0,076	0,090	0,122	0,113	0,214	0,153	0,090	0,076	0,163	0,238	0,092	0,092	0,076	0,135	0,076	0,144	0,076	0,076	0,110	0,148	0,152
Mojkovac	0,112	0,825	0,330	0,403	0,518	0,485	0,825	0,113	0,420	0,359	0,829	0,828	0,113	0,491	0,113	0,331	0,113	0,112	0,186	0,345	0,260
Nikšić	0,039	0,292	0,152	0,130	0,040	0,121	0,292	0,039	0,101	0,044	0,295	0,295	0,039	0,183	0,039	0,126	0,039	0,038	0,078	0,123	0,059
Plav	1,000	0,746	1,000	1,000	1,000	1,000	0,746	1,000	0,982	0,508	0,743	0,743	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,830	1,000	0,644
Pljevlja	0,355	0,868	0,848	0,723	0,248	0,695	0,868	0,354	0,596	0,203	0,882	0,882	0,354	0,977	0,354	0,833	0,354	0,346	0,647	0,676	0,345
Plužine	1,000	0,851	0,736	1,000	0,749	0,973	0,851	1,000	1,000	0,747	0,863	0,863	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,979	1,000	0,704	0,432
Podgorica	0,041	0,033	0,044	0,037	0,021	0,026	0,033	0,041	0,028	0,020	0,033	0,033	0,041	0,036	0,041	0,043	0,040	0,041	0,039	0,042	0,031
Rožaje	0,436	0,902	1,000	1,000	0,559	1,000	0,901	0,438	1,000	0,553	0,914	0,914	0,438	1,000	0,437	0,985	0,437	0,433	0,691	1,000	0,722
Šavnik	1,000	1,000	1,000	0,737	1,000	0,823	1,000	1,000	0,654	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,768	0,693	0,499
Tivat	1,000	0,266	0,474	0,351	0,488	0,222	0,266	1,000	0,247	0,424	0,265	0,265	1,000	0,357	1,000	0,825	1,000	1,000	1,000	0,646	0,533
Ulcinj	0,206	0,385	0,437	0,425	0,272	0,420	0,385	0,207	0,439	0,275	0,389	0,389	0,207	0,472	0,207	0,499	0,207	0,205	0,349	0,505	0,345
Žabljak	0,365	0,525	0,677	0,568	1,000	1,000	0,524	0,368	1,000	1,000	0,532	0,532	0,368	0,657	0,368	0,507	0,368	0,368	0,320	0,539	1,000
Referentni set	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabela 38. FANMA ponderi i sivi relacioni koeficijent

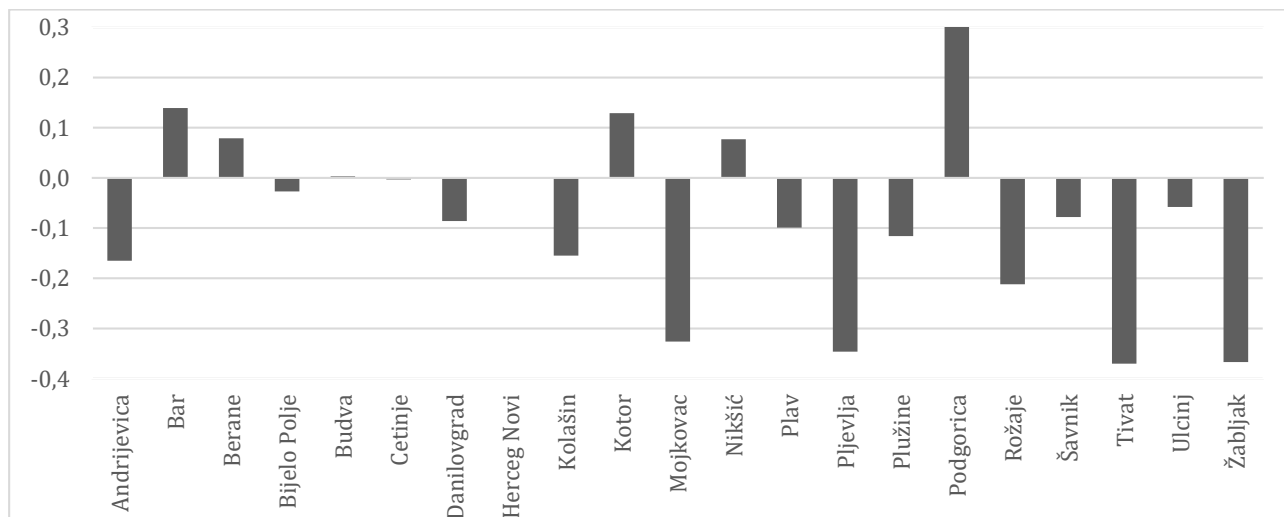
ζ	Andrijevica	Bar	Berane	Bijelo Polje	Budva	Cetinje	Danilovgrad	Herceg Novi	Kolašin	Kotor	Mojkovac	Nikšić	Plav	Plijevlja	Plužine	Podgorica	Rožaje	Šavnik	Tivat	Ulcinj	Žabljak
FANMA ponderi	0,339	0,055	0,051	0,053	0,049	0,053	0,055	0,039	0,052	0,044	0,056	0,056	0,039	0,056	0,039	0,053	0,039	0,039	0,044	0,050	0,040
Andrijevica	1,000	0,987	0,551	0,771	0,766	0,558	0,988	1,000	0,508	0,607	0,956	0,956	1,000	0,924	1,000	0,741	1,000	1,000	0,727	0,592	0,410
Bar	0,345	0,390	0,372	0,372	0,382	0,374	0,390	0,345	0,380	0,380	0,391	0,391	0,345	0,379	0,345	0,370	0,345	0,345	0,356	0,370	0,373
Berane	0,378	0,395	0,414	0,405	0,375	0,394	0,395	0,378	0,388	0,363	0,396	0,396	0,378	0,411	0,378	0,401	0,378	0,378	0,385	0,401	0,366
Bijelo Polje	0,391	0,452	0,440	0,475	0,402	0,434	0,452	0,391	0,457	0,392	0,454	0,454	0,391	0,440	0,391	0,417	0,391	0,391	0,395	0,421	0,413
Budva	0,353	0,353	0,352	0,360	0,439	0,356	0,353	0,353	0,363	0,428	0,354	0,354	0,353	0,362	0,353	0,375	0,353	0,353	0,379	0,373	0,355
Cetinje	0,358	0,398	0,410	0,403	0,411	0,453	0,398	0,359	0,445	0,394	0,399	0,399	0,359	0,409	0,359	0,390	0,359	0,359	0,372	0,393	0,401
Danilovgrad	0,365	0,495	0,411	0,423	0,359	0,387	0,495	0,365	0,384	0,351	0,496	0,496	0,365	0,415	0,365	0,389	0,365	0,365	0,373	0,389	0,357
Herceg Novi	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,606	1,000	1,000	0,750	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kolašin	0,379	0,388	0,392	0,421	0,405	0,475	0,388	0,380	0,531	0,396	0,389	0,389	0,380	0,409	0,380	0,389	0,380	0,379	0,378	0,395	0,388
Kotor	0,342	0,347	0,353	0,352	0,384	0,365	0,347	0,342	0,367	0,391	0,347	0,347	0,342	0,358	0,342	0,359	0,342	0,342	0,351	0,360	0,364
Mojkovac	0,351	0,734	0,417	0,447	0,504	0,486	0,734	0,351	0,456	0,433	0,738	0,738	0,351	0,486	0,351	0,417	0,352	0,351	0,371	0,422	0,396
Nikšić	0,333	0,406	0,361	0,356	0,338	0,357	0,406	0,333	0,351	0,339	0,407	0,407	0,333	0,371	0,333	0,354	0,333	0,333	0,343	0,353	0,340
Plav	1,000	0,655	1,000	1,000	1,000	1,000	0,655	1,000	0,965	0,499	0,653	0,653	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,739	1,000	0,577
Plijevlja	0,427	0,785	0,758	0,635	0,394	0,615	0,785	0,427	0,546	0,381	0,804	0,804	0,427	0,954	0,427	0,741	0,427	0,424	0,576	0,596	0,425
Plužine	1,000	0,765	0,644	1,000	0,661	0,948	0,765	1,000	1,000	0,660	0,780	0,780	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	0,958	1,000	0,618	0,460
Podgorica	0,334	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,334	0,333	0,333	0,333	0,333	0,334	0,333	0,334	0,333	0,334	0,334	0,333	0,333	0,333
Rožaje	0,460	0,831	1,000	1,000	0,526	1,000	0,830	0,461	1,000	0,523	0,849	0,849	0,461	1,000	0,461	0,970	0,461	0,459	0,609	1,000	0,636
Šavnik	1,000	1,000	1,000	0,647	1,000	0,733	1,000	1,000	0,584	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,674	0,610	0,492
Tivat	1,000	0,397	0,476	0,426	0,489	0,385	0,397	1,000	0,392	0,460	0,397	0,397	1,000	0,429	1,000	0,733	1,000	1,000	1,000	0,575	0,509
Ulcinj	0,377	0,440	0,459	0,456	0,402	0,457	0,440	0,377	0,464	0,403	0,442	0,442	0,377	0,477	0,377	0,488	0,377	0,377	0,425	0,492	0,425
Žabljak	0,431	0,504	0,597	0,527	1,000	1,000	0,504	0,432	1,000	1,000	0,508	0,508	0,432	0,584	0,432	0,492	0,432	0,432	0,414	0,510	1,000

Tabela 39. Ocena i rang opština prema iDEA indeksu

Skraćenica opštine	Opština	MLDEA	γ	iDEA	Rang	Udeo težinskih koeficijenata po domenima		
						Čovek	Vozilo	Infrastruktura
AN	Andrijevića	<u>1,000</u>	0,807	0,835	5	0,05 %	14,68 %	85,26 %
BR	Bar	0,245	0,371	0,384	17	0,03 %	0,03 %	99,94 %
BA	Berane	0,324	0,390	0,403	16	19,04 %	0,04 %	80,92 %
BP	Bijelo Polje	0,467	0,425	0,440	12	0,03 %	31,26 %	68,71 %
BD	Budva	0,375	0,366	0,378	18	0,01%	99,97 %	0,01 %
CT	Cetinje	0,411	0,395	0,408	15	8,24 %	19,26 %	72,49 %
DG	Danilovgrad	0,506	0,406	0,420	13	0,02 %	0,02 %	99,96 %
HN	Herceg Novi	<u>1,000</u>	0,966	<u>1,000</u>	1	0,06 %	15,58 %	84,37 %
KL	Kolašin	0,571	0,402	0,416	14	0,01 %	28,35 %	71,64 %
KO	Kotor	0,238	0,355	0,367	20	0,02 %	99,96 %	0,02 %
MK	Mojkovac	0,829	0,486	0,503	10	0,02 %	0,02 %	99,97 %
NK	Nikšić	0,295	0,360	0,372	19	0,02 %	0,02 %	99,97 %
PL	Plav	<u>1,000</u>	0,871	0,901	3	0,06 %	15,58 %	84,37 %
PV	Pljevlja	0,977	0,610	0,631	8	0,03 %	1,16 %	98,80 %
PŽ	Plužine	<u>1,000</u>	0,854	0,884	4	0,06 %	15,47 %	84,46 %
PG	Podgorica	0,043	0,333	0,345	21	97,66 %	0,10 %	2,24 %
RO	Rožaje	0,437	0,761	0,788	6	0,06 %	15,70 %	84,25 %
ŠA	Šavnik	<u>1,000</u>	0,891	0,922	2	0,06 %	14,59 %	85,35 %
TV	Tivat	<u>1,000</u>	0,609	0,630	9	61,72 %	0,05 %	38,23 %
UL	Ulcinj	0,505	0,432	0,447	11	85,60 %	14,31 %	0,09 %
ŽB	Žabljak	<u>1,000</u>	0,612	0,633	7	0,01 %	63,94 %	36,05 %
						12,99 %	21,43 %	65,58 %

Prema iDEA indeksu, najveći nivo bezbednosti saobraćaja u Crnoj Gori ima opština Herceg Novi koja je, u skladu sa dodeljenom ocenom 1 rangirana prva, dok je najmanji iDEA indeks (0,345) dodeljen glavnom gradu Crne Gore (Podgorica). Ovako dobijene iDEA ocene bezbednosti u sebi sadrže informacije svih 19 izabranih indikatora i omogućavaju poređenje i potpuno rangiranje između teritorija.

Na Grafikonu 13 je prikazana promena vrednosti konačne ocene efikasnosti opština pri implementaciji predložene integrisane iDEA metodologije u odnosu na primarni MLDEA pristup. Najveću promenu vrednosti pretrpele su opštine Tivat, Žabljak, Pljevlja, Mojkovac i Podgorica, a najmanja promena vrednosti kompozitnog indeksa zabeležena je u opštinama Herceg Novi, Budva, Cetinje i Bijelo Polje.

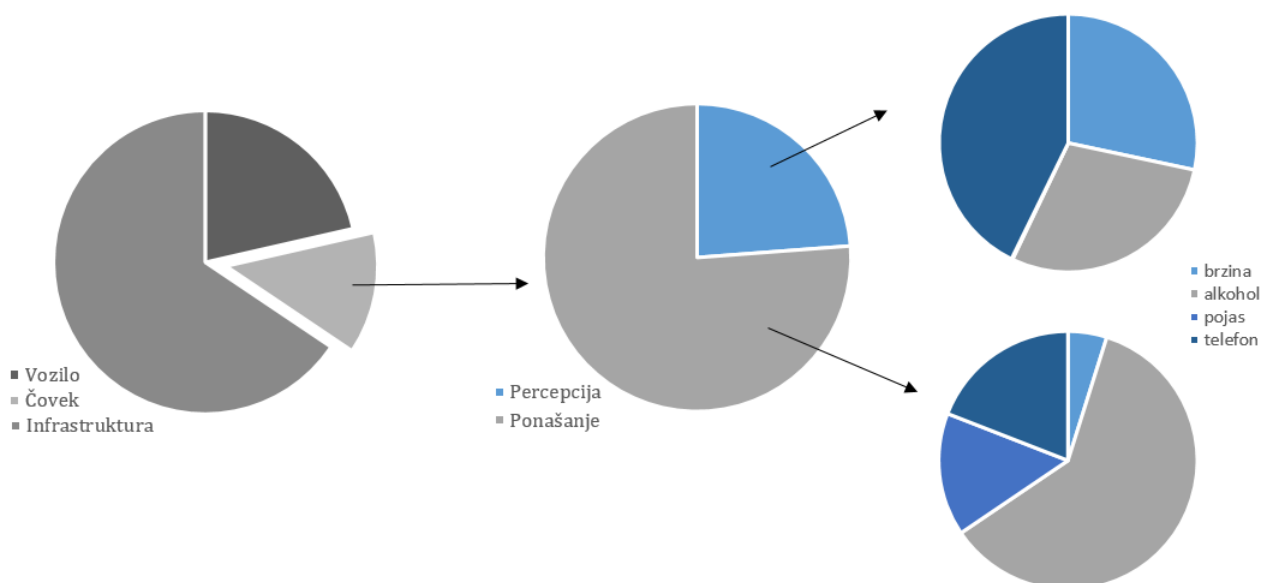


Grafikon 13. Promena ocene efikasnosti

Predloženi *i*DEA indeks predstavlja odgovarajući model za analizu i ocenu stanja bezbednosti saobraćaja na određenoj teritoriji, a korisnost samog modela se ogleda u praktičnoj primeni u cilju poboljšanja nivoa bezbednosti. Stoga, osim konačne ocene i ranga, u Tabeli 39 je za sve teritorije prikazan procentualni udeo dodeljenih pondera po domenima. Ono po čemu se *DEA* razdvaja od ostalih metoda je to što je izbegnuta subjektivnost pri dodeli težinskih koeficijenata s obzirom da vrši ponderisanje crpeći informacije iz samih podataka. Stoga, u proceduri u kojoj se traži najbolji mogući (maksimalna vrednost) odnos ponderisanih izlaza i ulaza, manji udeo nekog indikatora na konačnu ocenu označava oblast koju treba unaprediti. S obzirom da primena višeslojne *DEA* analize zahteva prethodnu normalizaciju vrednosti indikatora, nije potrebno računati vrednosti virtuelnih ulaza i izlaza već se dodeljeni težinski koeficijenti i njihov uticaj na konačnu ocenu mogu direktno posmatrati. Dodeljeni ponderi se mogu analizirati kako za svaku opštinu posebno tako i na nivou cele zemlje (računajući srednju vrednost svih dodeljenih pondera jednom indikatoru). Na taj način, donosioci odluka i kreatori politika i zakona su u mogućnosti da osmišljavaju mere i na mikro i na makro nivou.

Dalje, hijerarhijska struktura indikatora pruža mogućnost poređenja pojedinih indikatora unutar domena ali i međusobnog poređenja celih domena. Ovo istraživanje je potvrdilo dominantni uticaj čoveka na nivo bezbednosti, a u poređenju sa drugim uzrocima kao što su infrastruktura, vozilo i okruženje koji su razmatrani u okviru ove teze. Vrednost dodeljenih pondera domenu „čovek“ je najmanja u većini crnogorskih opština (17 od 21). Kada se posmatraju srednje vrednosti dodeljenih pondera (slučaj analize na nivou cele teritorije), procentualni udeo ovog domena u konačni indeks je oko 13% (Grafikon 14). U sklopu domena, manji prosečni ponderi su vezani za korišćenje pojasa u toku vožnje kada je u pitanju percepcija i vožnja brzinom većom od dozvoljene kada je u pitanju ponašanje vozača na putevima.

Dobijeni rezultati pokazuju da je u Crnoj Gori prvenstveno potrebno podići svest građana o pojedinim pitanjima bezbednosti saobraćaja, naročito o važnosti korišćenja sistema pasivne zaštite tokom vožnje (upotreba sigurnosnih pojaseva na svim sedištima i korišćenje zaštitnog sedišta za decu). Osim toga, pokazalo se da je vožnja brzinom većom od dozvoljene najuticajnije negativno ponašanje vozača na konačnu ocenu bezbednosti posmatrajući rezultate na nacionalnom nivou. S ciljem poboljšanja relativne efikasnosti, za svaku 21 analiziranu opštinu u Crnoj Gori je, na osnovu vrednosti dodeljenih pondera (Prilog F), moguće definisati prioritetna polja koja bi trebalo unaprediti. Kako bi se preciznije i pouzdanije identifikovali nedostaci po opštinama i predložile oblasti u koje bi trebalo primarno ulagati u cilju povećanja



Grafikon 14. Odnos dodeljenih pondera u domenu „čovek“ na nivou cele teritorije

nivoa bezbednosti saobraćaja na putevima, korisno je najpre izvršiti grupisanje teritorija i benčmarking. Grupisanje omogućava međusobno poređenje teritorija koje imaju slične karakteristike dok izdvajanje najboljih može predstavljati vodič ekspertima u kom smeru bi trebalo da se kreću u cilju donošenja mera i kreiranja najboljih strategija.

5.4. Benčmarking opština u Crnoj Gori

Prilikom primene analize obavljanja podataka, optimalni težinski koeficijenti teritorije koja se analizira mogu da proizvedu da ponderisani izlazi neke druge teritorije iz skupa podataka budu jednaki njenim ponderisanim ulazima. Ta teritorija se u tom slučaju smatra kao „benčmark“ teritorija, odnosno primer bolje prakse.

U Tabeli 40 su dati uzori za neefikasne opštine, a u slučaju primene *MLDEA* modela. Međutim, implementacijom predložene integrisane metodologije, opštine ocenje kao efikasne prema *MLDEA* su izgubile svoje vodeće uloge i postale neefikasne. Prema tome, teritorije uzore prema *iDEA* indeksu je potrebno odrediti na drugačiji način.

Upoređivanje *iDEA* indeksa bezbednosti svih opština moguće je izvršiti kao da pripadaju jednoj grupi, međutim, pretpostavlja se da je nerealno porediti opštinu sa najvećom ocenom relativne efikasnosti (HN) sa onom čija je ta ocena najmanja (PG) i predlagati joj mere koje su se u prvorangiranoj pokazale kao efikasne. Stoga, u ovom istraživanju se pošlo od pretpostavke da će efikasne mere za povećanje nivoa bezbednosti na putevima na nekoj teritoriji verovatno doneti bolje rezultate na teritorijama sa sličnim karakteristikama.

Kako bi se odredile relevantne grupe opština sa inherentnom sličnošću s ciljem da se mogu napraviti poređenja između onih u istoj grupi, kao prvi korak je sprovedena regresiona analiza. Na osnovu *iDEA* indeksa, distribucija ocene bezbednosti, percentila, probita, frekvence i ranga su dati u Tabeli 41.

Na osnovu podataka iz Tabele 41 definisana je regresiona jednačina sa pouzdanošću 95% i statističkom značajnošću 0,05 ($p < 0,001, R^2 = 0,8804$):

$$iDEA^* = -0,48848 + 0,20858Y^* \quad (47)$$

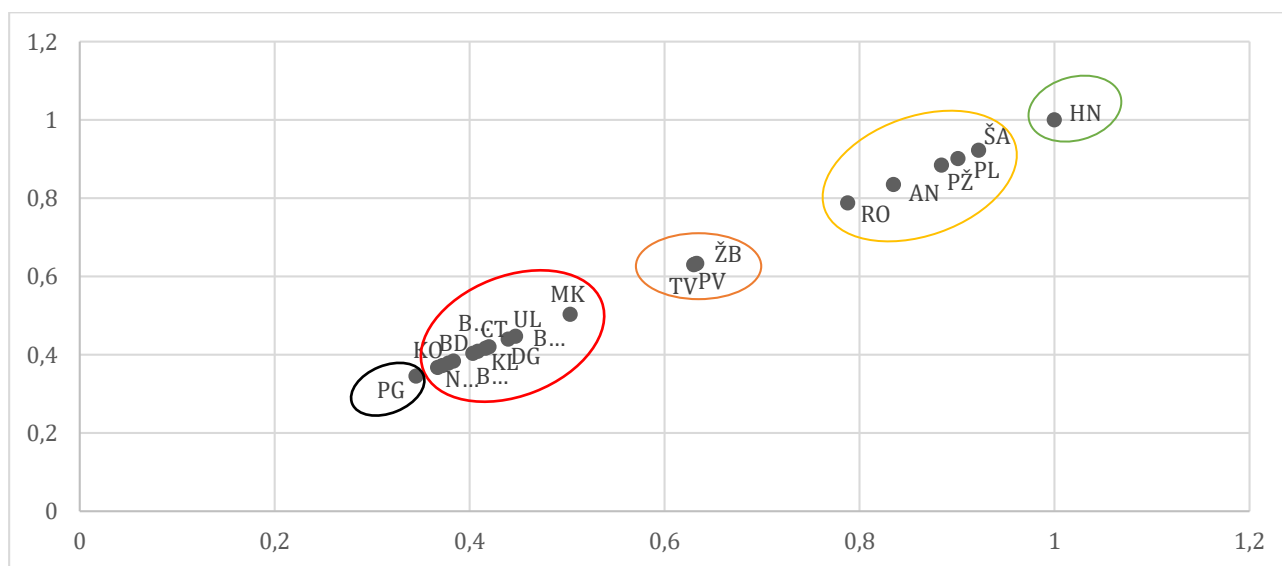
Prema *iDEA* indeksu, sve analizirane opštine su grupisane u 6 klasa i to: veoma bezbedna teritorija, bezbedna teritorija, umereno bezbedna teritorija, umereno nebezbedna teritorija, nebezbedna teritorija i veoma nebezbedna teritorija, a grupisanje je testirano ANOVA analizom i Levenovim testom. U prvoj i petoj grupi se nalazi samo po jedna opština (HN i PG, respektivno), dok u grupi koja definiše veoma nebezbedne teritorije nije klasifikovana nijedna od analiziranih opština (Grafikon 15).

Tabela 40. Benčmark teritorije prema *MLDEA*

Opština koja se analizira	Andrijevisa	Herceg Novi	Plav	Plužine	Šavnik	Tivat	Žabljak
Bar		X			X		
Berane		X	X		X		
Bijelo Polje		X	X	X			
Budva		X	X		X		X
Cetinje			X				X
Danilovgrad		X			X		
Kolašin				X	X		X
Kotor		X			X		X
Mojkovac		X			X		
Nikšić		X			X		
Pljevlja		X	X	X	X		
Podgorica		X	X		X		
Rožaje	X	X	X		X	X	
Ulcinj		X	X		X		

Tabela 41. Vrednosti potrebne za sprovođenje regresione analize

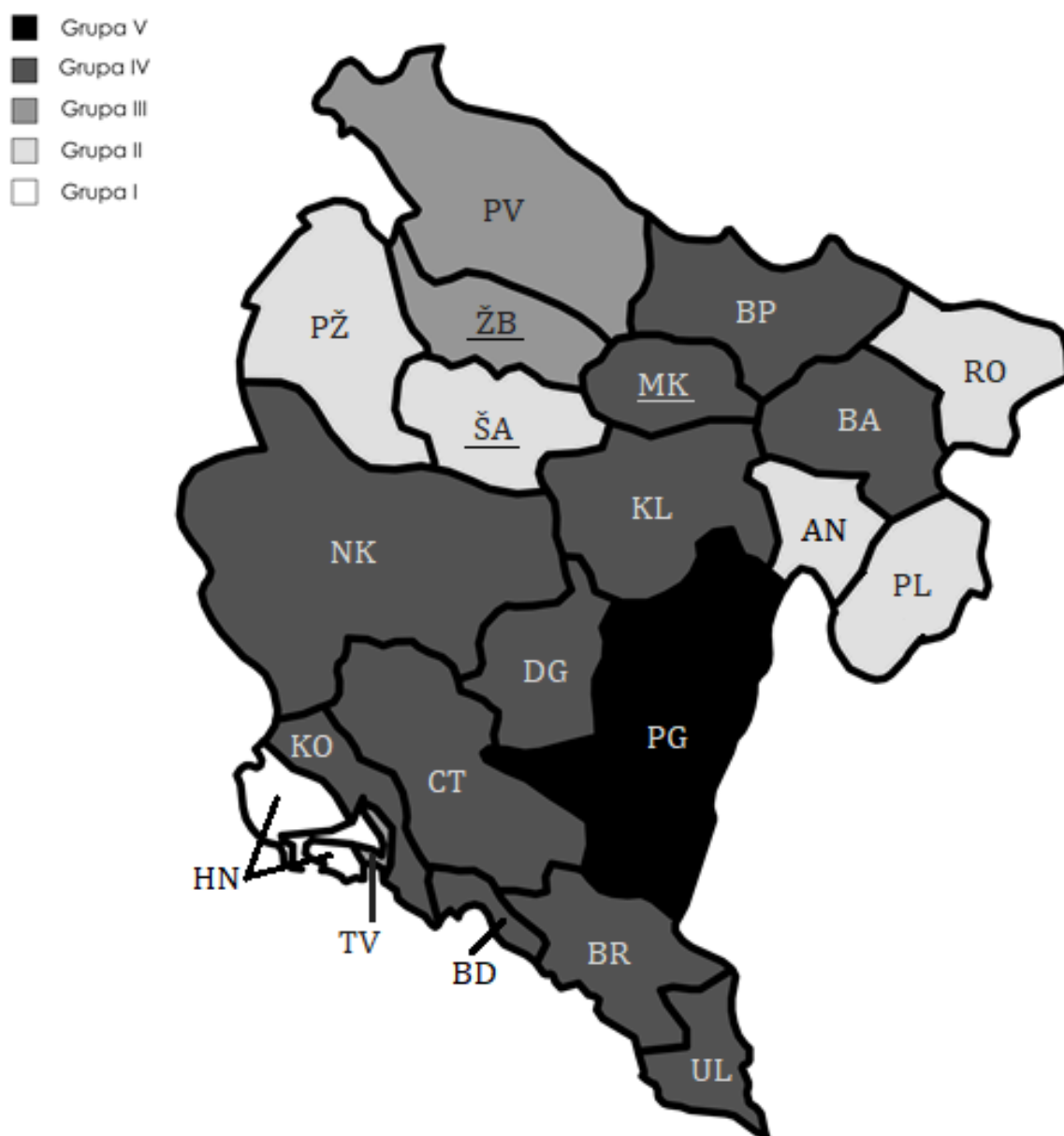
Skraćenica opštine	ID	Opština	iDEA	f	f ↓	R	\bar{R}	P_i	Y^*
PG	1	Podgorica	0,345	1	1	1	1	4,76	3,33
KO	2	Kotor	0,367	1	2	2	2	9,52	3,69
NK	3	Nikšić	0,372	1	3	3	3	14,29	3,93
BD	4	Budva	0,378	1	4	4	4	19,05	4,13
BR	5	Bar	0,384	1	5	5	5	23,81	4,29
BA	6	Berane	0,403	1	6	6	6	28,57	4,43
CT	7	Cetinje	0,408	1	7	7	7	33,33	4,57
KL	8	Kolašin	0,416	1	8	8	8	38,10	4,7
DG	9	Danilovgrad	0,420	1	9	9	9	42,86	4,82
BP	10	Bijelo Polje	0,440	1	10	10	10	47,62	4,94
UL	11	Ulcinj	0,447	1	11	11	11	52,38	5,06
MK	12	Mojkovac	0,503	1	12	12	12	57,14	5,18
TV	13	Tivat	0,630	1	13	13	13	61,90	5,3
PV	14	Pljevlja	0,631	1	14	14	14	66,67	5,43
ŽB	15	Žabljak	0,633	1	15	15	15	71,43	5,56
RO	16	Rožaje	0,788	1	16	16	16	76,19	5,71
AN	17	Andrijeвица	0,835	1	17	17	17	80,95	5,87
PŽ	18	Plužine	0,884	1	18	18	18	85,71	6,07
PL	19	Plav	0,901	1	19	19	19	90,48	6,31
ŠA	20	Šavnik	0,922	1	20	20	20	95,24	6,66
HN	21	Herceg Novi	1,000	1	21	21	21	98,81	7,26



Grafikon 15. Grupisanje teritorija prema iDEA indeksu

Unutar svake grupe, teritorija sa najvećom vrednošću iDEA indeksa se smatra teritorijom sa najboljom praksom (Tabela 42). Pretpostavka je da tako izdvojena opština ima relativno najveći nivo bezbednosti na putevima i uzor je ostalima iz grupe.

Grupisanje predstavlja osnovu donosiocima odluka u kreiranju mera pa je neophodno da ono bude smisleno i prihvatljivo. Iz tog razloga je sprovedeno testiranje varijansi svake grupe (Tabela 43) kao i razlika između grupa (Tabela 44). Levenov test je potvrdio konzistentnost svake definisane grupe ($p = 0,189 > 0,05$), a ANOVA test statistički značajnu razliku između grupa ($p = 0,000 < 0,05$). U suprotnom bi bilo potrebno pregrupisati teritorije i odrediti nove klase. Mapa raspodele iDEA indeksa je prikazana na Slici 7 gde linija ispod skraćenice opštine predstavlja teritoriju najbolju (uzor) u svojoj klasi.



Slika 7. Vizuelizacija stanja bezbednosti prema iDEA indeksu

Grupisanje teritorija i utvrđivanje onih najboljih može se razlikovati u zavisnosti od korišćenog metoda. Da bi se dobili pouzdaniji rezultati grupisanja dodatno je sprovedena klaster analiza (*Clustering Analysis*) koristeći aglomerativni hijerarhijski *ward* metod. Za sprovođenje klaster analize korišćen je nekomercijalni softver *Hierarchical Clustering* (v1.0.5) koji je dostupan (Wessa, 2017). Na osnovu klaster analize konstruisano je stablo povezavanja, tzv. dendrogram (Grafikon 16) iz koga se može videti na koji način je vršeno spajanje klastera teritorija.

Tabela 42. Grupisanje teritorija regresionom analizom

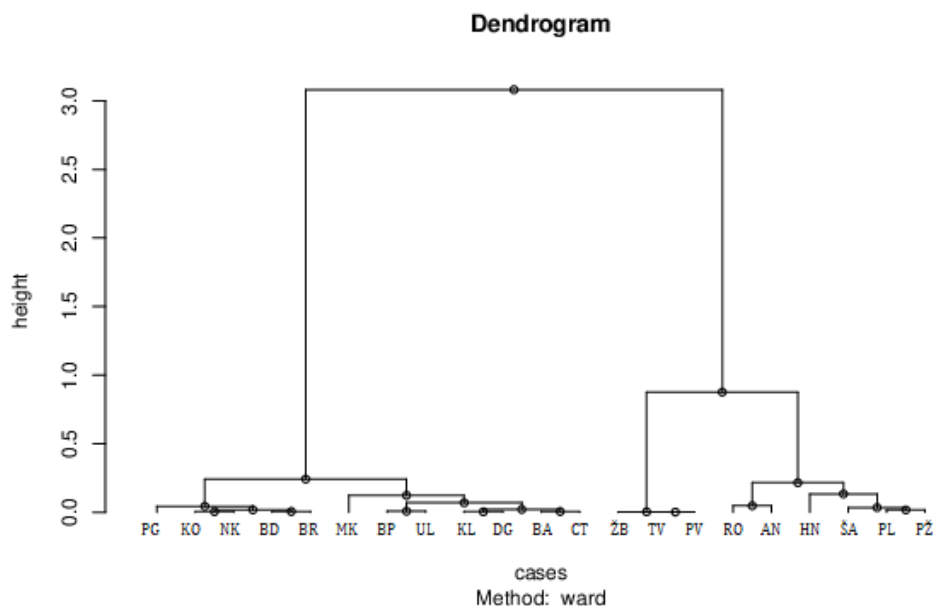
Grupa	Stanje bezbednosti	Percentili P*	Probit Y*	iDEA* ^a	Opština	Uzor
I	Veoma bezbedna teritorija	97.725	7	0.972	HN	-
II	Bezbedna teritorija	84.134	6	0.763	ŠA, PL, PŽ, AN, RO	ŠA
III	Umereno bezbedna teritorija	50,00	5	0.554	ŽB, PV, TV	ŽB
IV	Umereno nebezbedna teritorija	15.866	4	0.346	MK, UL, BP, DG, KL, CT, BA, BR, BD, NK, KO	MK
V	Nebezbedna teritorija	2.275	3	0.137	PG	-
VI	Veoma nebezbedna teritorija	<2,275	<3	<0.137	-	-

Tabela 43. Rezultati testa jednakosti varijansi

Levenov test	Stepen slobode 1	Stepen slobode 2	Sig. (P)
1,725	5	15	,189

Tabela 44. ANOVA analiza

	Suma kvadrata	Stepen slobode	Varijansa	F	Sig. (P)
Između grupa	0.956	5	0,191	103.199	,000
Unutar grupa	0.028	15	0.002		
Total	0,984	20			



Slika 8. Dendrogram

Sa mape na Slici 7 se može videti da nivo bezbednosti saobraćaja u opštinama u Crnoj Gori pokazuje trend opadanja od opština bez ili sa veoma niskim procentom magistralnih puteva do opština u centralnom i južnom (primorskom) delu kroz koje se prostiru glavni magistralni i regionalni pravci u zemlji. Osim prvorangirane, sve opštine u kojima je zabeležen veći nivo bezbednosti saobraćaja su slabije razvijene opštine sa indeksom razvijenosti manjim od prosečnog. Ovu negativnu korelaciju između razvijenosti neke teritorije i broja saobraćajnih nezgoda potvrdili su i Hakim et al. (1991) i Chen et al. (2015).

Za praktičnu primenu i korisnost predloženog modela u smislu benčmarkinga nije dovoljno samo konačno rangiranje ili grupisanje. Kako bi se steklo razumevanje tog rangiranja i sagledala potencijalna razlika između grupisanih opština, potrebno je analizirati svaki pojedinačan indikator. Na taj način se može tačno identifikovati šta je to što negativno utiče na nivo bezbednosti na putevima u određenoj opštini.

Analizirajući domen „čovek“ koji je u prethodnoj analizi izdvojen kao najuticajniji, za svaku od opština su identifikovana po dva prioriteta faktora koja bi trebalo unaprediti kako bi se poboljšala relativna efikasnost (Tabela 45). Najhitnijem aspektu bezbednosti na putevima dodeljena je ocena 1, a drugom po važnosti ocena 2 i to na sledeći način: vrednosti pondera analizirane teritorije upoređena su sa vrednostima pondera identifikovanih teritorija uzora za tu opštinu, a zatim vršeno njihovo rangiranje.⁶ Faktoru čija je suma rangova najveća pripisana

⁶ Normalizacija vrednosti ulaznih i izlaznih indikatoru koja je neophodna pre primene *MLDEA* omogućava poređene dodeljenih pondera. U drugim *DEA* verzijama u kojima se ne zahteva prethodna transformacija podataka, u smislu benčmarkinga, vrši se poređenje viruelnih izlaza (odnosno virtuelnih ulaza) koji predstavljaju proizvod vrednosti indikatora i *DEA* pondera (Cooper et al., 2007b).

je ocena 1. Kao na primer u opštini Bar (BR) manja vrednost pondera se beleži za oblast percepcije, ukazujući na nisku svest barske populacije o razmatranim faktorima bezbednosti. Međutim, relevantni benčmarkovi (Herceg Novi i Šavnik prema DEA, Mojkovac prema regresionoj analizi, kao i Budva prema klaster analizi) ukazuju da je, za poboljšanje relativne ocene bezbednosti na putevima u ovoj opštini, potrebno poboljšati ponašanje vozača, a naročito ponašanja koja se tiču vožnje pod uticajem alkohola i korišćenja sigurnosnog pojasa. Ovu analizu je moguće proširiti rezultatima statističke obrade percepcije i ponašanja u Crnoj Gori koja je data u poglavlju 5.2.1. a na način da identifikuju kategorije učesnika na koje bi prioritetno trebalo reagovati (na primeru Bara i ponašanja koje se tiče korišćenja alkohola u toku vožnje, to bi značilo da se sa preventivnim i represivnim merama trebaju tretirati prvenstveno muškarci, vozači stariji od 24 godine i vozači koji poseduju vozačku dozvolu duže od 5 godina. Kada je u pitanju drugo identifikovano ponašanje, korišćenje sigurnosnog pojasa u toku vožnje, prvenstveno bi trebalo obratiti pažnju na vozače ženskog pola ali i suvozače, kada je u pitanju vožnja gradskim ulicama).

Tabela 45. Prioritetna polja po opštinama u domenu „čovjek“

	Percepcija				Ponašanje			
	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon
Andrijevića				2		1		
Bar						1	2	
Berane		2					1	
Bijelo Polje					2		1	
Budva				1	2			
Cetinje		2					1	
Danilovgrad					2		1	
Kolašin					2		1	
Kotor				1	2			2
Mojkovac				1		2		
Nikšić		2				1		
Plav					1			2
Pljevlja	2					1		
Plužine				2		1		
Podgorica				1		2		
Rožaje			1					2
Šavnik							2	1
Tivat	1			2				
Ulcinj		2					1	
Žabljak			2				1	

6. ANALIZA PREDLOŽENOG METODA

6.1. Verifikacija integrisanog *i*DEA metoda za konstruisanje kompozitnog indeksa bezbednosti saobraćaja

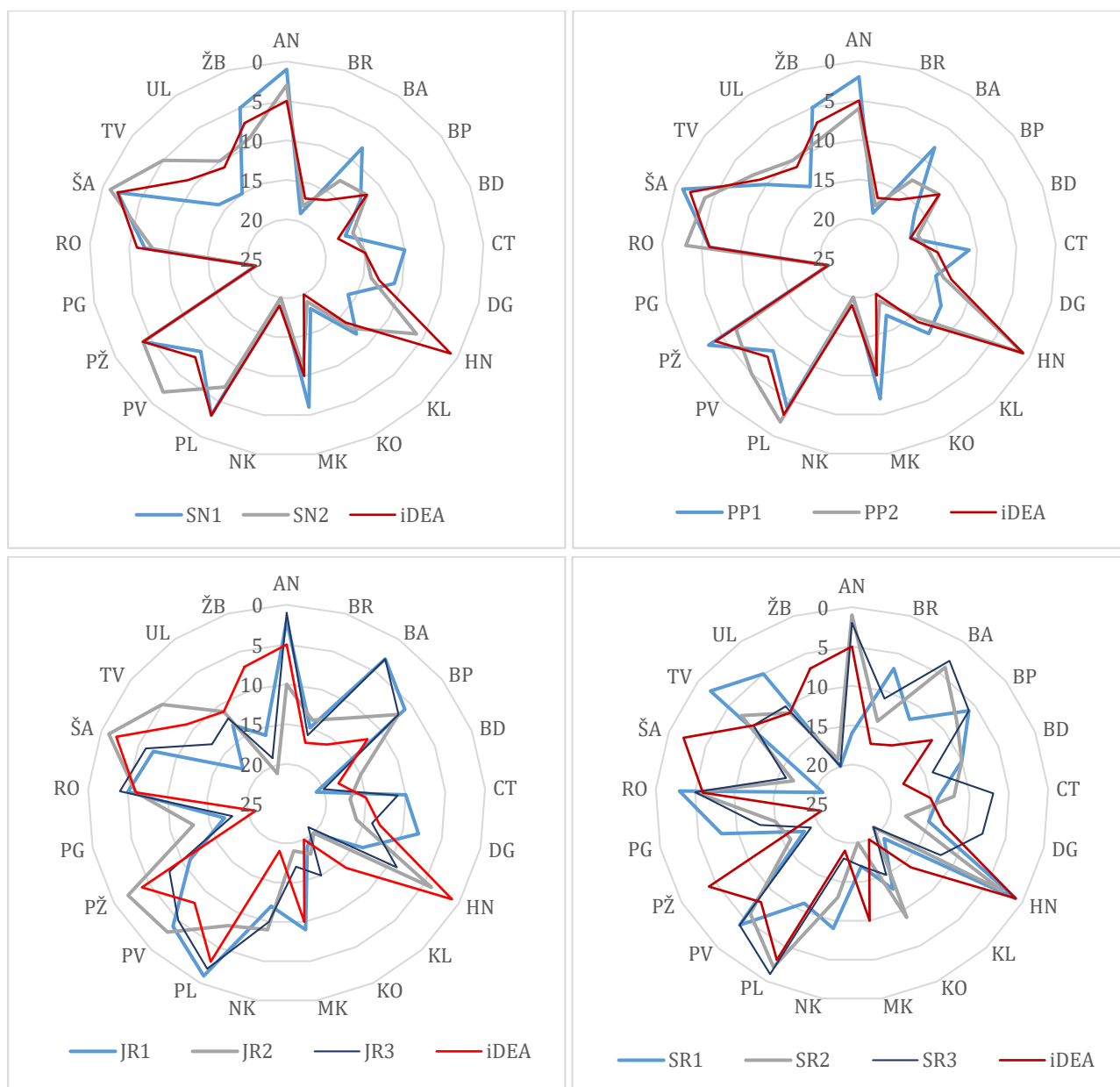
6.1.1. Poređenje sa tradicionalnim pristupima

Ocena stanja bezbednosti i poređenje između teritorija su se najpre zasnivala na poređenju veličine posledica u saobraćajnim nezgodama (npr. broj nezgoda, broj poginulih lica, itd). Da bi se izvršilo poređenje između teritorija koje se međusobno razlikuju (po veličini, stepenu razvoja, ...) eksperti su se okrenuli poređenju rizika koji se definiše odnosom nekog od ishoda (najčešće broj poginulih ili ukupan broj saobraćajnih nezgoda) i mere izloženosti (npr. broj stanovnika, broj vozila, broj pređenih kilometara i sl.). U ovom delu istraživanja, rang teritorija koji je rezultat *i*DEA metodologije je upoređen sa rangovima teritorija dobijenih izabranim tradicionalnim pristupima.⁷ Rangiranje je izvršeno tako da teritorija na prvom mestu rang liste predstavlja teritoriju sa najvećim indeksom bezbednosti, a posmatrani su:

- rang teritorija prema ukupanom broju saobraćajnih nezgoda – SN1
- rang teritorija prema broju saobraćajnih nezgoda sa poginulima – SN2
- rang teritorija prema broju povređenih – PP1
- rang teritorija prema broju poginulih – PP2
- rang teritorija prema broju saobraćajnih nezgoda u odnosu na broj stanovnika – JR1
- rang teritorija prema broju poginulih u odnosu na broj stanovnika – JR2
- rang teritorija prema broju povređenih u odnosu na broj stanovnika – JR3
- rang teritorija prema broju saobraćajnih nezgoda u odnosu na broj vozila – SR1
- rang teritorija prema broju poginulih u odnosu na broj vozila – SR2
- rang teritorija prema broju povređenih u odnosu na broj vozila – SR3

S obzirom da su izlazne vrednosti u predloženoj metodologiji, konačni ishodi, predstavljeni apsolutnim brojem saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica, ovde je dobijena vrednost *i*DEA indeksa namenski upoređena sa rangovima dobijenih posmatrajući pokazatelje opisane i sa apsolutnim pokazateljima (ukupan broj saobraćajnih nezgoda, ukupan broj saobraćajnih nezgoda sa poginulima, ukupan broj povređenih lica, ukupan broj poginulih lica) ali i relativnim pokazateljima (broj saobraćajnih nezgoda u odnosu na broj stanovnika, broj poginulih u odnosu na broj stanovnika, broj povređenih u odnosu na broj stanovnika, broj saobraćajnih nezgoda u odnosu na broj vozila, broj poginulih u odnosu na broj vozila i broj povređenih u odnosu na broj vozila). Promena ranga u zavisnosti od izabranog pristupa (Tabela G1, Prilog G) prikazana je na Grafikonu 16 dok su u Tabeli 46 prikazane vrednosti sprovedene korelacione analize.

⁷ Važno je napomenuti da se ovo rangiranje zasniva na poređenju u odnosu na izabrani ishod a ne na kompozitnom indeksu.



Grafikon 16. Poređenje rangova prema iDEA indeksu i odabranim rizicima

Najveća vrednost koeficijenta korelacije zabeležena je između iDEA ranga i ranga prema ukupnom broju poginulih lica u saobraćajnim nezgodama ($r = 0,964, t = 15,72$), a najmanja sličnost zabeležena je sa rangom teritorija prema broju saobraćajnih nezgoda u odnosu na broj vozila ($r = 0,061, t = 0,27$). Ovo nije iznenađenje s obzirom na već pomenute izabrane konačne ishode koji su implementirani u predloženu metodologiju za dobijanje iDEA indeksa. Relativno visoko slaganje iDEA ranga sa rangovima po svim izabranim pokazateljima (izuzev sa rizicima koji kao meru izloženosti podrazumevaju broj vozila) potvrđuje pouzdanost korišćenja razvijene metodologije za ocenu stanja bezbednosti saobraćaja, a čiji izlazni podaci mogu biti i apsolutne vrednosti pokazatelja.

Tabela 46. Korelacija ranga prema *i*DEA indeksu i odabranim pokazateljima

	SN1	SN2	PP1	PP2	JR1	JR2	JR3	SR1	SR2	SR3	<i>i</i> DEA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Parsons Correlation	0,747	0,961	0,688	0,661	0,209	0,531	0,530	0,075	0,227	0,732
	t - test	4,90	15,16	4,14	3,84	0,93	2,73	2,72	0,33	1,02	4,69
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,001	,001	,363	,013	,013	,746	,322	,000
2	Parsons Correlation		0,832	0,917	0,476	0,630	0,564	-0,050	0,289	0,240	0,917
	t - test		6,54	10,03	2,36	3,54	2,98	0,22	1,32	1,08	10,03
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,029	,002	,008	,828	,203	,294	,000
3	Parsons Correlation			0,774	0,562	0,318	0,536	0,432	0,135	0,168	0,806
	t - test			5,33	2,96	1,46	2,77	2,09	0,59	0,74	5,95
	Sig. (2-tailed)			,000	,008	,160	,012	,050	,559	,468	,000
4	Parsons Correlation				0,535	0,618	0,621	0,114	0,427	0,338	0,964
	t - test				2,76	3,43	3,45	0,50	2,06	1,56	15,72
	Sig. (2-tailed)				,990	,003	,003	,622	,053	,134	,000
5	Parsons Correlation					0,423	0,870	-0,021	0,452	0,700	0,474
	t - test					2,04	7,70	0,09	2,21	4,27	2,35
	Sig. (2-tailed)					,056	,000	,929	,040	,000	,030
6	Parsons Correlation						0,695	0,412	0,474	0,310	0,573
	t - test						4,21	1,97	2,35	1,42	3,05
	Sig. (2-tailed)						,000	,064	,030	,171	,007
7	Parsons Correlation							0,188	0,710	0,703	0,535
	t - test							0,84	4,40	4,30	2,76
	Sig. (2-tailed)							,414	,000	,000	,012
8	Parsons Correlation								0,595	0,451	0,061
	t - test								3,23	2,20	0,27
	Sig. (2-tailed)								,004	,040	,793
9	Parsons Correlation									0,784	0,252
	t - test									5,51	1,13
	Sig. (2-tailed)									,000	,271
10	Parsons Correlation										0,171
	t - test										0,76
	Sig. (2-tailed)										,457

6.1.2. Uticaj obrade nesigurnosti na konačnu ocenu bezbednosti

Ocena bezbednosti saobraćaja konstruisanjem kompozitnog indeksa podrazumeva integraciju vrednosti indikatora koje mogu biti precizne ili neprecizne, tačne ili nepotpune itd. a usled toga dobijeni indeks može biti racionalan i pouzdan ili ne. Osim toga, prisustvo lingvističkih varijabli može dodatno da zakomplikuje proces analize stanja bezbednosti. U takvom neizvesnom okruženju, rešavanje nesigurnosti bez gubitka vrednih informacija je ključno, a predložena *i*DEA metodologija predstavlja način da se to postigne. Ova integrisana metodologija vrši obradu nesigurnosti u više koraka a kao dva glavna izdvajaju se obrada nepreciznosti i subjektivnosti lingvističkih vrednosti podataka i obrada nepouzdanosti indeksa dobijenog od nesigurnih podataka.

Uticaj rešavanja nesigurnosti ispitan je poređenjem vrednost indeksa i ranga teritorija kada to nije slučaj. Za to su korišćena sledeći slučajevi:

- U prvom slučaju, vrednosti lingvističkih promenljivih su kodirani tradicionalnim pristupom – korišćenjem Likert-skale. Svim odgovorima su dodeljeni redni brojevi počevši od 1, a poštujući ranije uspostavljen smer podataka da veća vrednost označava pozitivno ponašanje (na primer u pitanju o prekoračenju brzine odgovoru „nikad“

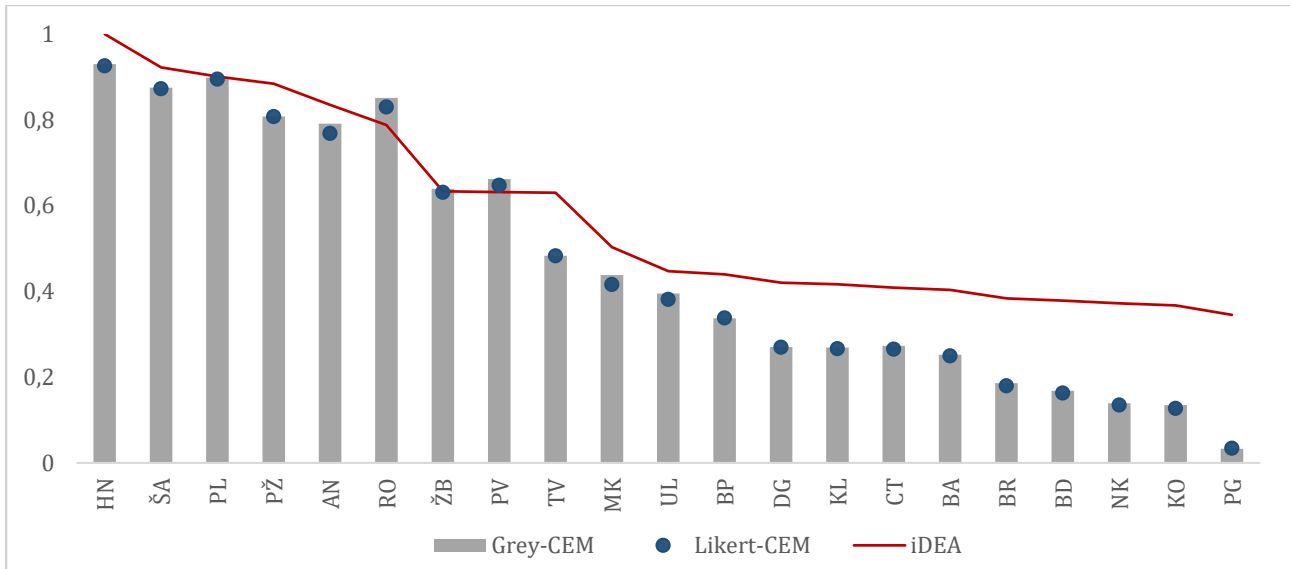
dodeljena je vrednost 6 dok je odgovoru „uvek“ dodeljena vrednost 1). Takvi podaci su zatim implementirani u analizu obavljanja podataka, a za dobijanje konačnog kompozitnog indeksa izvršena je prosta agregacija vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti (usrednjavanje). Vrednost indeksa i rang teritorija dobijen putem opisanog Likert-*CEM* pristupa dat je u Tabeli 47.

- Drugi pristup podrazumeva obradu nesigurnosti lingvističkih promenljivih korišćenjem sivih brojeva, postupkom kao što je prikazano u Poglavlju 4.1.2. Kako bi se izvršilo poređenje indeksa u slučaju kada su samo ulazni podaci obrađeni, korišćena je agregacija kao u prvom slučaju (višeslojna analiza obavljanja podataka i usrednjavanje vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti), a vrednosti indeksa i odgovarajući rang su takođe prikazani u Tabeli 47.
- Treći slučaj predstavlja kompozitni indeks dobijen primenom predložene integrisane *iDEA* metodologije gde je nesigurnost rešavana na više mesta primenom modela teorije sivih sistema, a od kojih se kao glavni koraci izdvajaju modeliranje lingvističkih promenljivih sivim brojevima i agregacija matrice unakrsnih efikasnosti primenom ponderisane sive relacione analize.

Kao što se može videti u Tabeli 47 i na Grafikonu 17 modeliranje nesigurnih vrednosti indikatora sivim brojevima utiče (u maloj meri) na konačnu vrednost kompozitnog indeksa. Važno je napomenuti da u tri slučaja (za opštine DG, KL i CT) se beleži promena ranga (Grafikon 18.). Veća statistički značajna korelacija ($p < 0,001$) sa rangom teritorija prema broju saobraćajnih nezgoda zabeležena je kod ranga prema *Grey-CEM* pristupu ($r = 0,718, t = 4,50$) u odnosu na rang prema Likert-*CEM* kada neizvesnost nije obrađena ($r = 0,714, t = 4,45$), a čime je obrada nepreciznosti i subjektivnosti lingvističkih vrednosti indikatora opravdana.

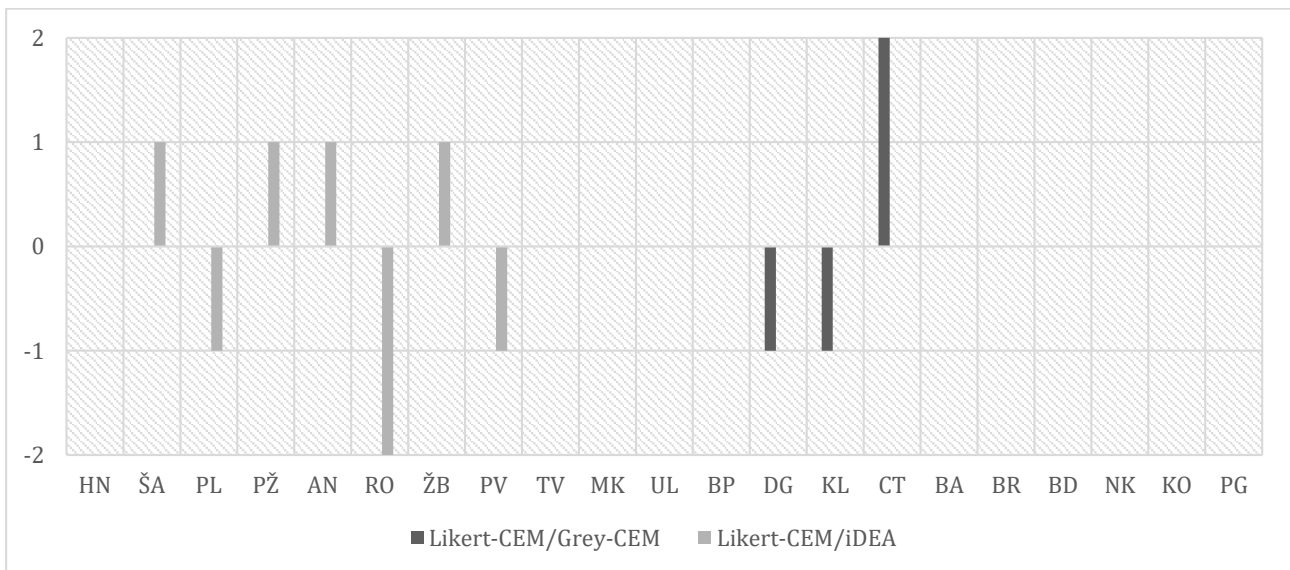
Tabela 47. Rang teritorija u zavisnosti od metode za obradu kvalitativnih podataka

Skraćenica opštine Opština		Likert - <i>CEM</i>		Grey - <i>CEM</i>		<i>iDEA</i>	
		Oцена	Rang	Oцена	Rang	Oцена	Rang
AN	Andrijevića	0,768	6	0,791	6	0,835	5
BR	Bar	0,180	17	0,186	17	0,384	17
BA	Berane	0,249	16	0,252	16	0,403	16
BP	Bijelo Polje	0,338	12	0,337	12	0,440	12
BD	Budva	0,163	18	0,168	18	0,378	18
CT	Cetinje	0,265	15	0,273	13	0,408	15
DG	Danilovgrad	0,269	13	0,270	14	0,420	13
HN	Herceg Novi	0,926	1	0,930	1	1,000	1
KL	Kolašin	0,266	14	0,269	15	0,416	14
KO	Kotor	0,127	20	0,135	20	0,367	20
MK	Mojkovac	0,416	10	0,438	10	0,503	10
NK	Nikšić	0,134	19	0,139	19	0,372	19
PL	Plav	0,894	2	0,898	2	0,901	3
PV	Pljevlja	0,647	7	0,662	7	0,631	8
PŽ	Plužine	0,807	5	0,808	5	0,884	4
PG	Podgorica	0,034	21	0,033	21	0,345	21
RO	Rožaje	0,830	4	0,851	4	0,788	6
ŠA	Šavnik	0,872	3	0,875	3	0,922	2
TV	Tivat	0,483	9	0,483	9	0,630	9
UL	Ulcinj	0,381	11	0,395	11	0,447	11
ŽB	Žabljak	0,631	8	0,639	8	0,633	7



Grafikon 17. Promena vrednosti ocene bezbednosti

U slučaju ocene bezbednosti *iDEA* indeksom, sedam teritorija je promenilo svoj rang u odnosu na slučaj Likert-*CEM* i deset u odnosu na slučaj Grey-*CEM*. Najveće odstupanje u rang u zabeleženo je u opštini Rožaje (RO) koja je izgubila dva mesta ranga u odnosu na prva dva analizirana slučaja. Ukupno su tri teritorije pogoršale (PL, RO i PV), a četiri popravile svoje rang mesto prema *iDEA* indeksu (ŠA, PŽ, AN i ŽB). Sva ova odstupanja u rangiraju su zabeležena u opštinama koje su visoko rangirane a što je važno za donosiocce odluka s obzirom na potencijalno nagrađivanje i isticanje uzornih teritorija kao primer najboljih praksi. Opravdanost obrade nesigurnosti kako nepreciznih vrednosti indikatora tako i nepouzdanosti rezultata dobijenih od njih, potvrđeno je većom statistički značajnom korelacijom sa rangom prema broju saobraćajnih nezgoda ($r = 0,732, t = 4,69$) nego u odnosu kada to nije slučaj (Likert-*CEM* i Grey-*CEM* pristupi). Štaviše, veća korelacija *iDEA* ranga zabeležena je i pri poređenju sa rangom prema riziku izraženom kao broj saobraćajnih nezgoda sa poginulima ($r = 0,917, t = 10,03$), dok je korelacija Likert-*CEM* i Grey-*CEM* sa istim rizikom bila manja ($r = 0,907, t = 9,36$ i $r = 0,903, t = 9,14$, respektivno).

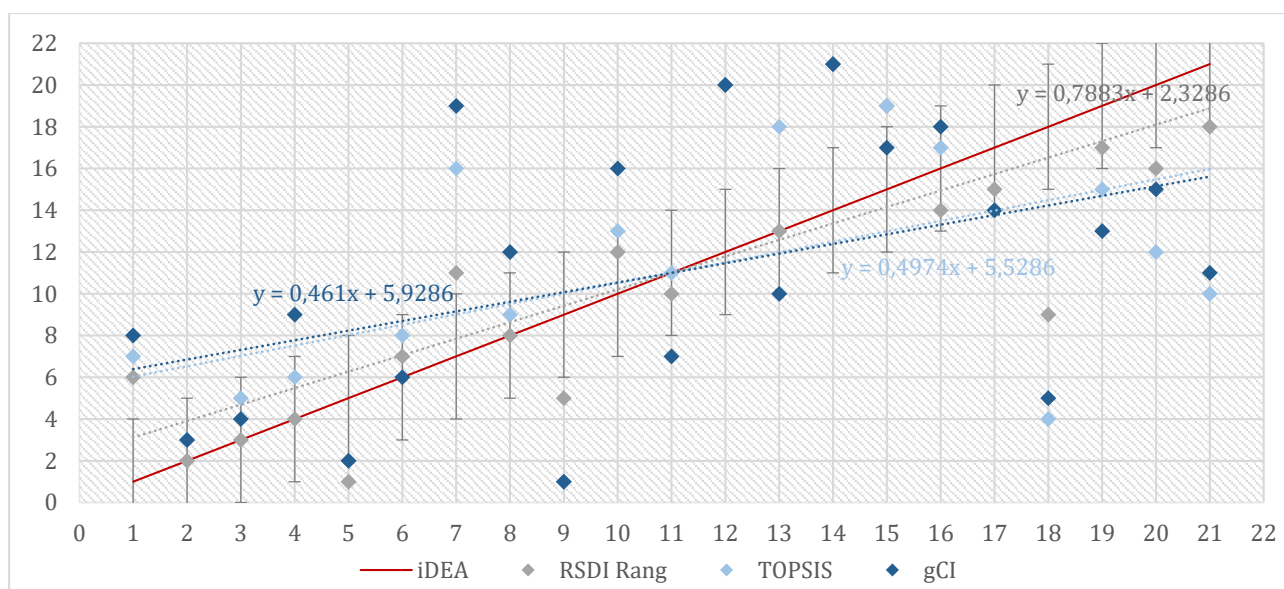


Grafikon 18. Promena ranga

6.1.3. Poređenje sa izabranim MCDM metodama

U ovom delu izvršeno je poređenje ranga prema *i*DEA indeksu i rangova teritorija u odnosu na izabrane metode višekriterijumskog odlučivanja a koje se koriste za ocenu bezbednosti saobraćaja na teritoriji. Izabrane su sledeće tri metode za poređenje:

- Opšteprihvaćen *RSDI* metod koji je za konstruisanje kompozitnog indeksa prvi predložio Al Haji (2007). Za ponderisanje vrednosti indikatora je korišćen metod jednakih težinskih koeficijenata dok je za agregaciju primenjen aditivni pristup.
- *TOPSIS* metod koji su za ocenu bezbednosti teritorija primenili Bao et al. (2012), Chen et al. (2015), Omrani (2020b) itd. Bao et al. (2012) je u svom istraživanju primenio hijerarhijsku strukturu indikatora, kao što je slučaj i pri konstruisanju *i*DEA indeksa.
- *gCI* metod za agregaciju hijerarhijski konstruisanih indikatora koji je predstavljen u Grdinić-Rakonjac et al. (2021a), a koji podrazumeva primenu sive relacije analize za ponderisanje i aditivnu agregaciju za računanje konačne vrednosti kompozitnog indeksa.



Grafikon 19. Rangovi prema MCDM metodama

Tabela 48. Korelacija rangova prema MCDM metodama

	1	2	3	4
	RSDI	TOPSIS	GRA	<i>i</i> DEA
1	Parsons Correlation	0,870	0,827	0,788
	t - test	7,70	6,42	5,58
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000
2	Parsons Correlation		0,908	0,497
	t - test		9,43	2,50
	Sig. (2-tailed)		,000	0,022
3	Parsons Correlation			0,461
	t - test			2,26
	Sig. (2-tailed)			0,035

Na Grafikonu 19 gde je primarno prikazana distribucija ranga prema *i*DEA indeksu sa odstupanjima ± 3 rang mesta, primećuje se nekonzistentnost rangova kada su u pitanju izabrane metode za ocenu bezbednosti. Međutim, relativno visoka korelacija između rangova (Tabela 48) potvrđuje pouzdanost *i*DEA ocene. Osim toga, rang teritorija prema *i*DEA indeksu ima veći koeficijent slaganja sa svim rangovima prema tradicionalnim pristupima posmatranim u poglavlju 6.1.1. nego ostali razmatrani MCDM pristupi (osim ranga prema TOPSIS metodi koji

ima veći stepen korelacije sa SN1 i PP1 rangovima od *i*DEA ranga), a što takođe verifikuje korišćenje predložene integrisane metodologije za ocenu bezbednosti teritorije.

6.1.4. Poređenje sa relevantnim *DEA* metodama

Kao drugačiji, jedinstven i efikasan pristup za ocenu bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom izdvojila se analiza obavljanja podataka. Za razliku od tradicionalnih metoda za ocenu bezbednosti ali i uobičajenih *MCDM* tehnika koje obično dodeljuju iste težinske koeficijente svim teritorijama koje se analiziraju, *DEA* metod se zasniva na samoevaluaciji, odnosno pristupu gde svaka teritorija za sebe bira najbolju moguću kombinaciju pondera (optimalni ponderi) kako bi maksimizirala svoju efikasnost. Na taj način, ključna polja bezbednosti se mogu identifikovati za svaku teritoriju posebno a izbegava se uključivanje eksperata i subjektivno ponderisanje. Stoga je za keiranje kompozitnog indeksa gde postoji neizvesnost ili sumnja u odgovarajuću šemu ponderisanja, opravdano korišćenje takve metode koja je strogo orijentisana samo na podatke. U postupku primene analize obavljanja podataka izdvajaju se efikasnosti dobijene samoprocenom (*DEA*) i efikasnosti dobijene usrednjavanjem svih vrednosti matrice unakrsne efikasnosti (*DEA-CEM*), takozvane unakrsne efikasnosti. U razvijenoj integrisanoj *i*DEA metodologiji koriste se podaci poređani na hijerarhijskoj strukturi, a za računanje vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti (*CEM*) implementiran je postupak odabira jedinstvenog seta optimalnih pondera efikasnih jedinica. Dalje, nakon dobijanja *CEM* matrice vrši se ponderisanje njenih vrednosti i agregacija u jedinstveni indeks, a po kom se teritorije dalje porede i rangiraju. U ovom delu disertacijskog istraživanja analizirana je relativna sličnost *i*DEA ranga sa rangovima dobijenim u zavisnosti od *DEA* nadgradnji⁸ i to sa:

- rangom dobijenim u zavisnosti da li je *DEA* pristup primenjen kao jednoslojni (u Tabeli 49 označeni kao *DEA* i *DEA-CEM* za samoevaluaciju i unakrsnu efikasnost, respektivno) ili višeslojni (*MLDEA* i *MLDEA-CEM*);
- rangom dobijenim ograničavajući vrednosti pondera hijerarhijski poređanih indikatora i to:
 - ✓ dodeljivanjem istih težinskih koeficijenata unutar svakog domena i na svim nivoima (na primer u domenu „čovjek“ su 2 poddomena (ponašanje i percepcija) kojima su dodeljeni ponderi vrednosti $\frac{1}{2}$, a dalje u sklopu svakog od njih su indikatori koji su ponderisani vrednostima $\frac{1}{4}$) – *MLDEA-EW*) i
 - ✓ ograničavanjem vrednosti dodeljenih pondera (indikatorima unutar domena prema Shen et al. (2011b), a domenima prema Shen et al. (2020) – *MLDEA-Shen* i *MLDEA-Shen-CEM*;
- rangom dobijenim korišćenjem pristupa koji je za agregaciju vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti (umesto usrednjavanja) predložio Song (2017), a takođe posmatrajući višeslojne indikatore – *MLDEA-Song*;
- sa rangom dobijenim sličnom metodologijom kao *i*DEA sa jedinom razlikom što je za ponderisanje vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti pre agregacije sivom relacionom analizom, umesto *FANMA* metoda, primenjena popularna i široko korišćena metoda entropije – *MLDEA-Cooper-entropy-GRA*.

Rangovi prema navedenim *DEA* metodama prikazani su u Tabeli 49. dok su koeficijenti relativne sličnosti prikazani u Tabeli 50.

Relativno visoke vrednosti stepena slaganja *i*DEA ranga sa analiziranim slučajevima potvrđuje pouzdanost i efikasnost ocene bezbednosti teritorije definisane integrisanom metodologijom. Osim toga, veći stepen korelacije rangova prema tradicionalnim pristupima (npr. rang prema broju saobraćajnih nezgoda) sa *MLDEA* rangom u odnosu na *DEA* rang ($r = 0,723$ sa *MLDEA* i $r = 0,691$ sa *DEA*) jasno verifikuje korišćenje hijerarhijske strukture indikatora

⁸ Vrednosti ulaznih i izlaznih podataka su iste u svakoj analiziranoj *DEA* varijanti

Tabela 49. Rangovi teritorija prema izabranim DEA metodama

	DEA	DEA-CEM	MLDEA	MLDEA-CEM	MLDEA-Shen	MLDEA-Shen-CEM	MLDEA-Cooper-entropy-GRA	MLDEA-EW	MLDEA-Song	iDEA
Andrijevića	1	20	1	6	1	2	5	2	5	5
Bar	19	1	19	17	18	18	18	18	18	17
Berane	17	9	17	16	12	12	16	12	15	16
Bijelo Polje	15	8	14	12	13	13	12	13	12	12
Budva	1	19	16	18	17	17	17	17	17	18
Cetinje	16	10	15	13	14	14	15	15	16	15
Danilovgrad	13	3	12	14	16	16	14	16	14	13
Herceg Novi	12	13	1	1	6	6	1	8	1	1
Kolašin	11	11	11	15	15	15	13	14	13	14
Kotor	20	16	20	20	19	19	19	19	19	20
Mojkovac	10	4,5	10	10	11	11	10	10	10	10
Nikšić	18	4,5	18	19	20	20	20	20	20	19
Plav	1	21	1	2	3	3	3	3	3	3
Pljevlja	9	2	9	7	7	7	9	7	9	8
Plužine	1	17	1	5	4	4	4	4	4	4
Podgorica	21	14	21	21	21	21	21	21	21	21
Rožaje	1	7	1	4	5	5	7	5	7	6
Šavnik	1	18	1	3	1	1	2	1	2	2
Tivat	1	15	1	9	8	9	6	9	6	9
Ulcinj	14	6	13	11	10	10	11	11	11	11
Žabljak	1	12	1	8	9	8	8	6	8	7

za kreiranje kompozitnog indeksa naspram indikatora posmatranih kao da pripadaju jednom nivou. Ovim je istovremeno potvrđena prva pomoćna hipoteza koja zastupa stav da primena hijerarhijske strukture indikatora utiče na krajnju ocenu bezbednosti saobraćaja. Takođe, relativno visoka sličnost sa rangom prema Shen et al. (2011; 2020) ukazuje na pouzdanost *iDEA* ocene bez uplitanja eksperata za određivanje graničnih vrednosti pondera.

Najveći stepen korelacije zabeležen je između rangova *iDEA* i *MLDEA-Cooper-entropy-GRA* ($r = 0,988$, $t = 28,26$), što i nije iznenađenje s obzirom da se te dve metode razlikuju samo u jednom koraku (i to ponderisanje matrice unakrsne efikasnosti). Kako bi se analizirao uticaj obrade nesigurnosti procedurama predloženim u sklopu *iDEA* metodologije, upoređeni su rangovi teritorija dobijenih bez obrade nesigurnosti (i to *MLDEA* i *MLDEA-CEM* rangovi, pri čemu će se kao relevantniji rang posmatrati rang teritorija prema *MLDEA-CEM* s obzirom da se u njemu vrši agregacija vrednosti unakrsnih efikasnosti) sa rangovima dobijenim ukoliko je nesigurnost na neki način uzeta u obzir (*MLDEA-Cooper-entropy-GRA*, *MLDEA-Song* i *iDEA*).

Iako mala, veća statistički značajna korelacija ($p < 0,001$) sa rangom teritorija prema broju saobraćajnih nezgoda zabeležena je kod ranga prema *iDEA* indeksu ($r = 0,732$, $t = 4,69$) naspram *MLDEA-CEM* metoda ($r = 0,718$, $t = 4,50$) što pokazuje da je obrada nesigurnosti i neizvesnosti *DEA* rezultata opravdana. Osim toga, u sedam od deset slučajeva *iDEA* rang ima veći stepen korelacije sa tradicionalnim pristupima u odnosu na druga dva posmatrana postupka koja uključuju obradu nesigurnosti, a što još jednom potvrđuje pouzdanost i robustnost rezultata ove metodologije.

Tabela 50. Spermanova korelacija rangova prema izabranim DEA meodama

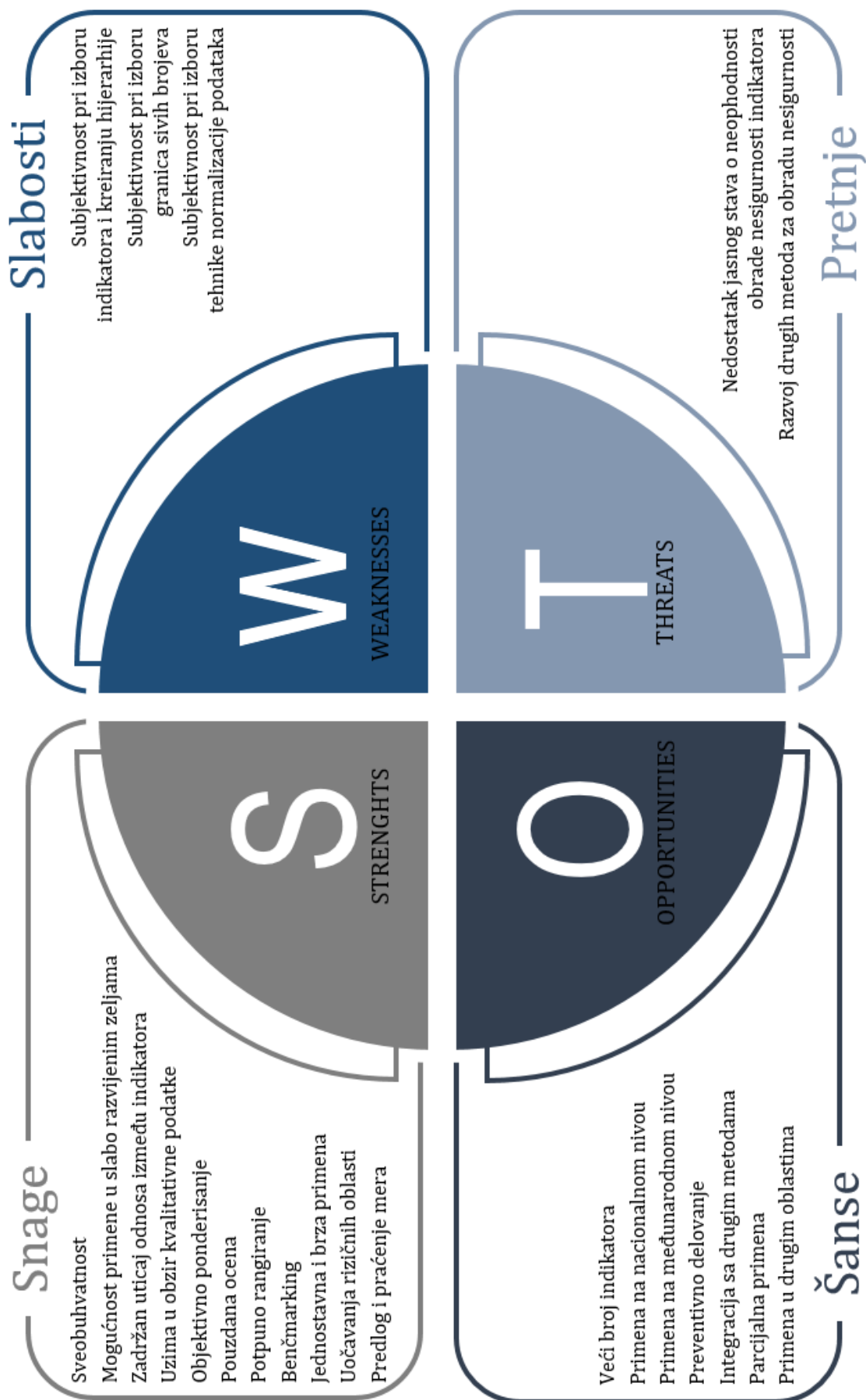
	DEA	DEA-CEM	MLDEA	MLDEA-CEM	MLDEA-Shen	MLDEA-Shen-CEM	MLDEA-Cooper-entropy-GRa	MLDEA-EW	MLDEA-Song	iDEA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Parsons Correlation	0,525	0,848	0,705	0,764	0,764	0,749	0,797	0,748	0,722
	t - test	2,69	6,98	4,33	5,16	5,17	4,93	5,75	4,92	4,55
	Sig. (2-tailed)	,015	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
2	Parsons Correlation		0,402	0,270	0,388	0,377	0,381	0,374	0,379	0,301
	t - test		1,92	1,22	1,84	1,78	1,79	1,76	1,79	1,37
	Sig. (2-tailed)		,071	,237	,082	,092	,089	,095	,090	,185
3	Parsons Correlation			0,927	0,907	0,909	0,953	0,916	0,951	0,943
	t - test			10,74	9,37	9,48	13,74	9,96	13,42	12,30
	Sig. (2-tailed)			,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
4	Parsons Correlation				0,944	0,951	0,975	0,931	0,971	0,990
	t - test				12,51	13,36	19,26	11,13	17,84	30,00
	Sig. (2-tailed)				,000	,000	,000	,000	,000	,000
5	Parsons Correlation					0,998	0,947	0,988	0,949	0,947
	t - test					72,15	12,83	27,78	13,18	12,83
	Sig. (2-tailed)					,000	,000	,000	,000	,000
6	Parsons Correlation						0,948	0,992	0,951	0,953
	t - test						12,99	34,71	13,36	13,75
	Sig. (2-tailed)						,000	,000	,000	,000
7	Parsons Correlation							0,934	0,999	0,988
	t - test							11,37	85,44	28,26
	Sig. (2-tailed)							,000	,000	,000
8	Parsons Correlation								0,938	0,940
	t - test								11,76	12,04
	Sig. (2-tailed)								,000	,000
9	Parsons Correlation									0,987
	t - test									26,78
	Sig. (2-tailed)									,000

6.2. SWOT analiza

SWOT analiza je analitička tehnika koja može poslužiti kao jednostavan, ali koristan i pregledan okvir za analizu snaga (*Strengths*), slabosti (*Weaknesses*), mogućnosti (*Opportunities*) i pretnji (*Threats*) predloženog modela.

Sagledavajući snage iDEA modela, identifikuju se prednosti i oblasti po kojima je superiorniji u odnosu na druge postojeće modele za ocenu bezbednosti saobraćaja. Rezultirajući znanjem i veštinama, snage modela (Slika 9) postaju strateški važne u procesu kreiranja kompozitnog indeksa. Osobina sveobuhvatnosti odnosi se na veliki broj indikatora koje je moguće implementirati ali i na raznovrsnost primene različitih hijerarhijskih struktura indikatora. Upravo ta karakteristika omogućava zadržavanje međusobnog odnosa indikatora i definisanog uticaja na konačnu ocenu stanja. Takođe, rešen je problem nedostataka podataka u nerazvijenim i slabo razvijenim zemljama nudeći mogućnost prikupljanja podatka anketiranjem i rešavajući njihovu prirodnu nepouzdanost i nepreciznost. Oblikujući nesigurnost na više mesta u procesu, garantuje pouzdanu konačnu ocenu na osnovu koje je moguće izvršiti potpuno rangiranje i poređenje između teritorija, kao i identifikovanje najuspešnijih.

Na produktivnost i sposobnost predloženog integrisanog modela u najvećoj meri mogu da utiču subjektivnosti koje se javljaju pri izboru indikatora, kreiranju njihovih relacija i hijerarhijske strukture, pri dodeli sivih brojeva kvalitativnim indikatorima i pri izboru tehnika



Slika 9. SWOT analiza razvijene iDEA metodologije

transformacije podataka u uporedive vrednosti, a koje su izdvojene kao glavni nedostaci modela (Slika 9).

Mogućnosti *i*DEA modela su raznovrsne a kao najznačajnije izdvojila se mogućnost primene za ocenu stanja bezbednosti na različitim teritorijama kako na mikro tako i na makro nivou, a kad god su u proceduri ocene prisutni nepouzdana i kvalitativni podaci. Zatim, mogućnost humanističkog pristupa modela predstavlja jednu od najznačajnijih osobina. Sprovedenjem integrisane metodologije pri kojoj se analiziraju samoprijavljena ponašanja i percepcija, mogu se identifikovati ponašanja na koja bi preventivnim merama trebalo delovati i oblasti bezbednosti koje bi trebalo unaprediti i pre nastanka saobraćajne nezgode i njenih posledica.

Osim bezbednosti saobraćaja, ovaj metod se može primeniti za kreiranje kompozitnog indeksa i u drugim oblastima, a moguća je i parcijalna primena, odnosno aplikacija samo jednog njegovog dela.

Najveće pretnje za primenu predložene integrisane metodologije predstavlja nedostatak jasnog stava u naučnoj zajednici o potrebi identifikovanja i oblikovanja nesigurnosti, kao i konkurentni modeli razvijeni sa istim ciljem.

Izvršenom *SWOT* analizom opisane su opšte karakteristike *i*DEA metodologije. Rezimirajući rezultate ove analize i identifikovane nedostatke, u zaključnoj diskusiji biće predloženi pravci istraživanja kojima bi se mogla ova metodologija unaprediti i kako bi se identifikovane slabosti otklonile a pretnje svele na najmanju moguću meru.

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Polaznu osnovu svakog procesa upravljanja bezbednošću na putevima predstavlja pouzdana ocena stanja. Prepoznata složenost samog fenomena bezbednosti i dokazani uticaj mnogih faktora na konačnu ocenu stanja su pokazali da je tradicionalni način analize koji se zasniva samo na konačnim ishodima (broj saobraćajnih nezgoda i posledica) nedovoljan za definisanje detaljnih aspekata koji utiču na nastanak i veličinu saobraćajnih nezgoda. Kao rezultat toga, sve više pokazatelja se kontinuirano razvija i koristi kao instrument za ocenu nivoa bezbednosti i poređenje kako na nacionalnom tako i na međunarodnom nivou. Međutim, jednostavno poređenje izabranih indikatora pokazuje samo mali deo stanja bezbednosti što može navesti na pogrešan zaključak jer različite teritorije (lokalne samouprave, opštine, provincije, regioni, države) mogu delovati u različitim okolnostima sa različitim fokusnim tačkama. Usled toga, za merenje višedimenzionalnog koncepta bezbednosti koji se ne može obuhvatiti jednim indikatorom, sve više je zastupljena primena kompozitnog indeksa. Ovaj indeks u koji je implementiran veći broj informacija o različitim pokazateljima, predstavlja ukupnu sliku stanja bezbednosti i kao takav pruža mogućnost za benčmarking i utvrđivanje prioriternih mera bezbednosti.

Ono što se često zanemaruje prilikom konstruisanja kompozitnog indeksa je nesigurnost i nepreciznost vrednosti izabranih indikatora. Nesigurnost se obično uzima u obzir samo onda kada je prisutno subjektivno mišljenje donosioca odluka za dodelu težinskih koeficijenata. Međutim, iako su pokazatelji kao što su broj nezgoda, broj poginulih, stepen motorizacije itd. lako dostupni i kvantitativni, pod određenim okolnostima zbog složenosti i neizvesnosti stvarnosti, mogu biti neadekvatni i neprikladni za modeliranje realnog stanja. Osim toga, podaci o percepciji (kao i podaci o ponašanju kada su u pitanju nerazvijene i zemlje u razvoju koje nemaju ažurne baze podataka zasnovane na metodološki uspostavljenim snimanjima) se prikupljaju sprovođenjem ankete. Zbog neizvesnosti ljudskog saznanja i nepreciznih i nejasnih stavova, prikupljeni odgovori su obično u vidu jezičkih procena pa je prilikom konstruisanja kompozitnog indeksa neophodno u obzir uzeti prisustvo takvih kvalitativnih pokazatelja. Indeks dobijen od suštinski nepreciznih i nesigurnih podataka se ne može smatrati apsolutno pouzdanim pa je neophodno i to uzeti u obzir kako bi se dobio ultimativni pouzdani kompozitni indeks bezbednosti saobraćaja kojim je moguće sprovesti ocenu stanja bezbednosti saobraćaja (i u nerazvijenim zemljama), a što je i bio konačni cilj ove doktorske disertacije.

U skladu sa postavljenim ciljevima, a nakon opisivanja samog procesa konstruisanja kompozitnog indeksa i nesigurne prirode podataka u bezbednosti saobraćaja, razvijen je integrisani metodološki pristup za ocenu stanja bezbednosti u čijem postupku se na više mesta prepoznaje i oblikuje neizvesnost i nesigurnost. Kao osnova predložene metodologije korišćena je analiza obavljanja podataka čija je pouzdanost za kreiranje složenog indeksa već dokazana. Sve integrisane metode predložene u ovoj disertaciji se mogu posmatrati kao svojevrzne *DEA* nadgradnje, a kao celina mogu poslužiti za kreiranje pouzdanog kompozitnog indeksa u bilo

kojoj drugoj oblasti pored oblasti bezbednosti saobraćaja, a kada su prisutni neprecizni i nepouzdati podaci.

Prva faza istraživanja bila je posvećena prikupljanju, obradi i validaciji vrednosti indikatora gde se kao najznačajnija može izdvojiti primena teorije sivih sistema, odnosno njenog dela koji se odnosi na sive brojeve za obradu nepreciznosti podataka prikupljenih upitnicima. Zatim se u sledećoj fazi, u samu *DEA* analizu ugrađuje hijerarhijska struktura indikatora i postupak za izbor jedinstvenih optimalnih pondera efikasnih jedinica, čime se ublažava neizvesnost i proizvoljnost vrednosti unakrsnih efikasnosti. Međutim, tako dobijene vrednosti matrice unakrsnih efikasnosti se i dalje smatraju nesigurnim pa se za njihovu agregaciju primenjuje još jedan metod teorije sivih sistema i to (ponderisana) siva relacionalna analiza. Na ovaj način, sve informacije o indikatorima (i njihovom međusobnom odnosu) su ugrađene u vrednost unakrsnih efikasnosti, dok konačna agregatna ocena u sebi sadrži sve informacije iz tih vrednosti (informacije o vrednostima efikasnosti i uticaju svakog od setova pondera). Na taj način se dobija pouzdana ocena bezbednosti saobraćaja na nekoj teritoriji čija je robusnost i primenljivost potvrđena studijom slučaja u Crnoj Gori i poređenjem sa drugim metodama. Konačno, rezimiranjem glavnih naučnih doprinosa i predlogom pravaca budućih istraživanja datih u nastavku, zaključuje se ova doktorska disertacija.

7.1. Glavni naučni doprinosi *i*DEA metodologije

Prateći definisani predmet istraživanja, postavljene hipoteze i utvrđene ciljeve, a koristeći razvijenu integrisanu *i*DEA metodologiju za kreiranje pouzdane ocene bezbednosti saobraćaja na teritoriji kada su prisutni nepouzdati i nesigurni podaci, izdvojeni su sledeći glavni naučni doprinosi:

I. Proširivanje liste indikatora

Od kojih indikatora će se konstruisati konačna ocena zavisi od fenomenologije problema, odnosno postavljenog cilja. Uglavnom su to indikatori koji opisuju ponašanje učesnika u saobraćaju (najčešće su to vožnja brzinom većom od dozvoljene, vožnja pod uticajem alkohola, korišćenje zaštitnih sistema u vozilu i sl.) i karakteristike koje se odnose na vozila (npr. stepen motorizacije, prosečna starost voznog paka, procentualno učešće novih vozila i sl.), put (gustina mreže, procenat magistralnih puteva, dužina autoputa na određenoj teritoriji itd.) ili okruženje (na primer pokazatelj o načinu upravljanja u hitnim slučajevima). Percepcija i ponašanje učesnika u saobraćaju agregirani sa ostalim indikatorima u jedan kompozitni indeks omogućavaju sveobuhvatniju sliku stanja na teritoriji što dalje predstavlja dobru podlogu za definisanje jasnih smernica kako bi se postigao napredak u bezbednosti saobraćaja. Međutim, s obzirom na zahtevnost istraživanja percepcije i na nedostupnost podataka, ovaj indikator se uglavnom zanemaruje prilikom ocene stanja. S obzrom da mišljenja i navike različitih grupa učesnika u saobraćaju predstavljaju izvor relevantnih informacija jer otkrivaju iskustava i zabrinutosti koje se tiču bezbednosti na putevima, jedan od doprinosa ove doktorske disertacije je proširivanje liste indikatora (u domenu „čovjek“) kako bi se u obzir uzele i te informacije.

Osim percepcije, razvijen je novi pokazatelj koji je implementiran u sklopu domena „vozilo“ a tiče se sezonske varijacije obima saobraćaja u toku godine na putevima na određenoj teritoriji. U zemljama u kojima je turizam veoma razvijen trebalo bi razmotriti uvođenje indikatora sezonalnosti kojim će se uzeti u obzir prisustvo vozila na putevima koja nisu registrovana na teritoriji koja se analizira i koja nisu uzeta u obzir prilikom implementacije pokazatelja o stepenu motorizacije a potencijalno učestvuju u određenom broju saobraćajnih nezgoda.

II. Definisanje metoda za obradu nepreciznih i nesigurnih indikatora

U ovoj doktorskoj disertaciji je kreiran *i*DEA kompozitni indeks bezbednosti saobraćaja koristeći ukupno 19 indikatora podeljenih po domenima i poređanih po hijerarhiji. Na

proširivanje i definisanje seta indikatora utiče problem nedostupnosti određenih podataka što u velikoj meri ograničava analizu. To je najčešće slučaj u zemljama u razvoju kakva je i Crna Gora. Shodno tome, efikasnost rešavanja ovih problema sa podacima direktno utiče na rezultat istraživanja indeksa bezbednosti na putevima i na uspeh praksi benčmarkinga. Kada su podaci o pojedinim indikatorima nedostupni, a kada je to moguće, prikupljaju se metodom ankete. Vrednosti prikupljene upitnicima su uglavnom jezičke promenljive kojima su izražena subjektivna mišljenja i stavovi ispitanika. Prirodna neizvesnost ovakvih podataka uzrokuju to da njihovo opisivanje numeričkom vrednošću nije u potpunosti tačno i precizno. Shodno tome, a u skladu sa prethodno postavljenim ciljevima ovog istraživanja, značajan doprinos ove doktorske disertacije predstavlja definisanje teorije sivih brojeva kao metodologije za modeliranje manje pouzdanih i delimično nepreciznih indikatora bezbednosti saobraćaja čiji su podaci prikupljeni metodom ankete. U prikazanom istraživanju to su indikatori percepcije, ponašanje i sezonalnosti, međutim, predložena metodologija se može primeniti i na druge kvalitativne podataka. Štaviše, primenjiva je i u drugim disciplinama kada je prisutna neizvestost povezana sa ljudskim razmišljanjem.

III. Percepcija i ponašanje učesnika u saobraćaju u Crnoj Gori

Rezultati istraživanja koje je sprovedeno za potrebe ove doktorske disertacije, predstavljaju jedinstveni izvor podataka o stavovima i ponašanju vozača na crnogorskim putevima. Nalazi istraživanja se mogu smatrati doprinosom identifikovanju različitih stavova vozača prema određenim nebezbednim ponašanjima i učestalost tih ponašanja, posebno onim koji negativno utiču na bezbednost saobraćaja. Štaviše, ovo istraživanje pruža širok spektar saznanja koja se tiču razumevanja kako učesnici u saobraćaju u Crnoj Gori ocenjuju stanje bezbednosti u svojoj zemlji, kako percipiraju pojedinačne faktore rizika, kolika je podrška, odnosno prihvatljivost pojedinih mera itd. Analiza razlika u stavovima i ponašanjima u odnosu na pol, starost i iskustvo daje detaljniju sliku koja može poslužiti kao podrška ekspertima u planiranju i primeni mera koje kao ciljnu grupu imaju relevantnu populaciju vozača. Osim toga, definisanje relevantnih prioriteta može predstavljati osnovu intervencija koje su prilagođene identifikovanim rizičnim grupama, a čiji je cilj informisanje, obrazovanje, podizanje svesti i u krajnjoj meri, smanjenje učestalosti negativnih ponašanja.

IV. Razvijanje hijerarhijski sistematizovanog i sveobuhvatnog seta indikatora

Tokom poslednje decenije, pristup ocene stanja korišćenjem kompozitnog indeksa je postao veoma popularan među relevantnim istraživačima iz oblasti bezbednosti saobraćaja. Paralelno sa razvojem kompozitnog indeksa, povećava se pažnja posvećena indikatorima od kojih se kreira i koji utiču na stanje bezbednosti, a naročito onima koji se mogu kontrolisati (na primer indikatori ponašanja i percepcije). U ovom istraživanju razvijen je sveobuhvatan skup pokazatelja koji su međusobno povezani čineći hijerarhijsku strukturu koja utiče na bolju komunikaciju sa konačnom ocenom. U tom smislu je definisano pet oblasti (čovjek, vozilo i infrastruktura, saobraćajne nezgode i posledice saobraćajnih nezgoda), a u sklopu njih i relevantni indikatori koji su, u zavisnosti od domena, dalje razvrstani po kategorijama. Rang teritorija izveden prema *i*DEA kompozitnom indeksu koji podrazumeva hijerarhijsku strukturu, pokazuje relativno veću korelaciju sa rangom teritorija izvedenim prema konačnim ishodima (broj saobraćajnih nezgoda) od ranga izvedenog korišćenjem jednoslojnih indikatora. Time je potvrđena potreba za razvojem višeslojne strukture indikatora i dokazana njena efikasnost i korisnost u primeni za kreiranje kompozitne ocene bezbednosti.

V. Nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti

Obrađena nesigurnosti podataka, sprovođenje višeslojne *DEA* analize i procedure odabira optimalnog seta pondera efikasnih jedinica predstavljaju važne korake na putu ka dobijanju pouzdane vrednosti kompozitnog indeksa koji rezultiraju matricom unakrsnih efikasnosti. Unakrsna efikasnost je razvijena kao proširenje *DEA* metode u cilju izbegavanja nerealistične dodele težinskih koeficijenata koja se dešava pri samoevaluaciji. Međutim, s obzirom na već

dokazanu nesigurnost i nepreciznost većine indikatora koji se koriste za ocenu stanja bezbednosti ali i neizvesnost rezultata bilo koje analize bezbednosti, vrednosti dobijene na prethodno opisan način se ne mogu u potpunosti smatrati sigurnim. Stoga, u sklopu ovog disertacijskog istraživanja je razvijena nadgradnja matrice unakrsne efikasnosti koja se zasniva na agregaciji vrednosti svih efikasnosti primenom sive relacione analize integrisane sa *FANMA* metodom dodele težinskih koeficijenata, a koja eliminiše neizvesnost koja je svojstvena vrednostima matrice i koja proizvodi pouzdanu konačnu ocenu. Veća pouzdanost ovako dobijenog indeksa dokazana je relativno većim koeficijentom korelacije u odnosu na rang prema konačnim ishodom (broj saobraćajnih nezgoda) od ranga kada nesigurnost nije uzeta u obzir. Predložena nadgradnja *CEM* matrice se može smatrati prirodnim nastavkom (jednoslojne i višeslojne) *DEA* metode pri primeni u bilo kojoj oblasti, a kad se rukuje nedovoljno preciznim i nesigurnim podacima.

VI. Pouzdana ocena efikasnosti

U ovoj doktorskoj disertaciji je razvijena metodologija za kreiranje kompozitnog indeksa u slučaju ako se za to koriste neprecizni i nesigurni podaci poređanih na hijerarhijskoj lestvici. Predloženi metod se zasniva na integraciji teorije sivih sistema kao osnove za obradu nesigurnosti i analize obavijanja podataka za dodelu težinskih koeficijenata i agregaciju. Sivi brojevi, kao deo teorije sivih sistema, korišćeni su za obradu indikatora koji su prikupljeni metodom ankete i koji su prirodno nepouzdati i neprecizni. Zatim se primenjuje višeslojna *DEA* analiza da bi se, kombinovanjem konačnih vrednosti indikatora, kreirala matrica unakrsnih efikasnosti. Za dobijanje pouzdanije vrednosti matrice unakrsne efikasnosti, a samim tim i pouzdanije agregatne vrednosti, u sklopu *DEA* analize implementira se nadgradnja za izbor jedinstvenog seta optimalnih rešenja efikasnih jedinica odlučivanja. Za oblikovanje neizvesnosti pri agregaciji primenjuje se unapređena siva relaciona analiza koja, kao i sivi brojevi, takođe pripada teoriji sivih sistema. Na taj način dobija se ultimativna pouzdana ocena bezbednosti (*iDEA*) koja omogućava međusobno poređenje između teritorija, rangiranje i benčmarking.

Jedna od prednosti razvijenog integrisanog metoda je prilagodljivost i laka primena kad je u pitanju drugačije struktuiran set indikatora. Drugim rečima, broj indikatora, domena i nivoa zavisi isključivo od istraživača i cilja njegovog istraživanja, čime je izbegnut početni zahtev *DEA* analize da broj jedinica odlučivanja i broj ulaznih i izlaznih veličina moraju biti u balansu (da broj jedinica odlučivanja bude najmanje tri puta veći od ukupnog broja ulaznih i izlaznih veličina). Osim toga, ovako definisana metodologija je primenljiva za ocenu bezbednosti na bilo kom području (zemlje, regioni, gradovi, opštine, itd.) ali i za ocenu relativne efikasnosti u svim drugim oblastima kada su podaci neprecizni i nepouzdati (i/ili prikupljeni anketiranjem).

VII. Unapređenje rangiranja i benčmarkinga

Rangiranje i poređenje između teritorija predstavljaju konačni cilj ocene stanja bezbednosti kreiranjem kompozitnog indeksa. Rangiranjem prema *iDEA* indeksu identifikovane su teritorije koje beleže napredak u procesu upravljanja bezbednošću saobraćaja i postižu dobre rezultate. Osim toga, mogu se definisati prioritetni regioni ili teritorije za buduća istraživanja. Predloženim grupisanjem pružena je mogućnost opštinama sa niskim nivoom bezbednosti da prepoznaju teritorije-uzore sa sličnim karakteristikama i da uče i da se usavršavaju na osnovu njihovih postojećih praksi. Ovo može povećati javnu svest o problemu ali i stručnjacima iz bezbednosti saobraćaja koji kreiraju mere i politike takođe može pomoći u preduzimanju odgovarajućih mera za rešavanje problema u ciljanoj opštini.

VIII. Uočavanje nedostataka, predlog kontramera i praćenje efekta implementiranih mera zasnovano na naučnom pristupu

U Crnoj Gori ne postoje baze podataka o indikatorima ponašanja i percepcije, a njihovo istraživanje i prikupljanje predstavljao je jedan od zahtevnijih i obimnijih koraka u ovom istraživanju. S obzirom na subjektivnost i nepreciznost kojom se odlikuju podaci prikupljeni

anketama, primena integrisanog metoda pruža mogućnost da se od tako nepouzdanih podataka kvalitetno oceni stanje bezbednosti saobraćaja. Rezultati *iDEA* metoda mogu imati praktičnu primenu u uočavanju nedostataka pojedinih oblasti bezbednosti i kreiranju kontramera, što je od suštinskog značaja za upravljače i donosiocce odluka. Hijerarhijska struktura pruža mogućnost analize različitih nivoa indikatora, a primena analize obavijanja podataka detaljniji uvid u dodeljene pondere svake pojedinačne teritorije. Vrednosti dodeljenih pondera se analiziraju i u odnosu na najbolje prakse prevode u korisne preporuke za poboljšanje bezbednosti. Odnosno, svaka opština prema dodeljenim ponderima može, u odnosu na relevantnu uzornu teritoriju, identifikovati oblast koju je potrebno da unapredi ukoliko želi da stekne nivo bezbednosti kao i ona. Predlaganje, organizovanje i praćenje kampanja za bezbednost na putevima su važni uticaji koji doprinose efikasnosti implementacije pa se periodičnim praćenjem stanja koje primena predložene metodologije omogućava, može vršiti monitoring i analiza efekata primenjenih mera, a što dalje pruža mogućnost da se u skladu s tim mogu korigovati primenjene strategije.

Još jedna nezanemarljiva prednost *iDEA* indeksa je humanistički pristup praćenju stanja bezbednosti i planiranju kontramera. Primena ove metodologije omogućava uvid u rizične faktore, a naročito u učestalost određenih rizičnih ponašanja u saobraćaju, na koja se može delovati i pre nastanka saobraćajne nezgode i pojave posledica u vidu materijalne štete, povređenih i poginulih.

7.2. Ograničenja *iDEA* metoda i predlog budućih istraživanja

Ova doktorska disertacija je imala za cilj razvoj odgovarajućeg, naučno utemeljenog metoda za pouzdanu ocenu stanja bezbednosti saobraćaja na teritoriji konstruisanjem sveobuhvatnog kompozitnog indeksa, a korišćenjem nepreciznih i nepouzdanih podataka. Metod *iDEA* je očigledno značajan i koristan u kontekstu ocene bezbednosti saobraćaja jer je originalna *DEA* metoda unapređena i nadgrađena, što je rezultiralo korisnim problemom optimizacije kada je nesigurnost implementirana u sam proces. Budući da postoji niz koraka u procesu izgradnje *iDEA* indeksa, na njegovu konačnu vrednost mogu uticati metodološki izbori napravljeni tokom samog procesa konstruisanja.

Procedura formiranja *iDEA* indeksa započinje odabirom relevantnih domena i njima pripadajućih pokazatelja. Iako je u sklopu ovog istraživanja razvijen sveobuhvatan set uporedivih indikatora, u budućim istraživanjima bi osim predloženih trebalo razmotriti i širi set, a sprovođenjem analize osetljivosti utvrditi najoptimalniji broj indikatora u svakom domenu kao i najoptimalniju hijerarhijsku strukturu. Štaviše, sprovođenje analize osetljivosti je veoma važno kako bi se ispitala robusnost dobijenog indeksa i uticaj svakog izabranog indikatora na njegovu konačnu vrednost.

Kada je reč o dodatnim indikatorima definisanih ovim istraživanjem, konkretno pokazatelja o sezonalnosti, u budućim istraživanjima bi trebalo primeniti podatke o protoku saobraćaja na teritorijama koje se analiziraju, a dobijenih metodološki sprovedenim merenjima. Osim toga, trebalo bi sprovesti analizu vrednosti ovog indikatora ali i uticaja na konačnu ocenu, a u zavisnosti od načina prikupljanja podataka. Bilo bi veoma korisno sprovesti poređenje rezultata u slučaju da se za oblikovanje kvantitativnih podataka koriste *fuzzy* i *grubi* brojevi. Osim toga, kada su upitanju sivi brojevi, potrebno je izvršiti analizu osetljivosti i ispitati uticaj različitih granica sivih brojeva na konačni indeks bezbednosti saobraćaja.

Sa stanovišta metodologije koja se koristi za ponderisanje i agregaciju vrednosti indikatora u kompozitni indeks, višeslojna analiza obavijanja podataka se pokazala kao pogodna za pružanje uvida u nedostatke i davanje preporuke polja koja je potrebno unaprediti. U sklopu ove disertacije su uspešno razvijena i implementirana proširenja *DEA* analize koja su poslužila za rešavanje specifičnih pitanja koja se tiču nepreciznosti pokazatelja i nepouzdanosti rezultata. Predložen metod podrazumeva pouzdanu ocenu stanja bezbednosti saobraćaja

primenom lako dostupnih podataka, odnosno kvalitetnu analizu bezbednosti u zemljama koje nemaju metodološki uspostavljene baze podataka a iste mogu prikupiti anketiranjem opšte populacije. Za obradu tako prikupljenih vrednosti predloženi su modeli teorije sivih sistema. Osim sivih brojeva (za obradu vrednosti indikatora) i sive relacione analize (za obradu nesigurnosti rezultata dobijenih od nepreciznih podataka) u budućim istraživanjima bi trebalo ispitati uticaj primene drugih teorija i to na način da se neka od drugih teorija implementira u oba koraka ili da se u različitim koracima primene različiti načini za obradu nesigurnosti. Dalje, u zavisnosti od cilja budućih istraživanja, potrebno je razmotriti uvođenje dodatnih ograničenja težinskih koeficijenata (kako za izabrane indikatore tako i za definisane domene) i izbor jedinstvenog seta za sve jedinice odlučivanja.

U sklopu ove disertacije razvijena je metodologija za nadgradnju matrice unakrsne efikasnosti koja se zasniva na obradi njenih nesigurnih vrednosti. U zavisnosti od cilja istraživanja ali i od broja jedinica odlučivanja koje su uključene u analizu, potrebno je uzeti u obzir i druge metodologije za ponderisanje u proceduri agregacije *CEM* matrice, naročito ako je u pitanju veliki broj jedinica odlučivanja.

Konačno, primena kompozitnog indeksa za ocenu stanja bezbednosti nastaviće da ima značajnu ulogu u upravljanju i poboljšanju stanja bezbednosti saobraćaja. Treba imati na umu da kreiranje kompozitnog indeksa, uz benčmarking, nije cilj već predstavlja stalni dijagnostički alat koji zahteva efikasne strategije, uspešnu primenu i konstantno praćenje i evaluaciju. Sa stanovišta predložene metodologije, *DEA* se pokazala kao pogodna i veoma efikasna tehnika za pružanje važnih uvida i davanje vrednih preporuka, a njene nadgradnje za rešavanje specifičnih istraživačkih ciljeva povezanih sa indikatorima i podacima su uspešno razvijene i primenjene u ovom istraživanju.

LITERATURA

- Aarts, L.T., & Houwing, S., (2015). Benchmarking road safety performance by grouping local territories: A study in the Netherlands. *Transportation Research Part A*, 74, 174–185.
- Al Haji, G. (2007). Road Safety Development Index (RSDI): Theory, Philosophy and Practice. Department of Science and Technology. PhD Dissertation No. 1100, Linköping University, Norrköping, Sweden.
- Al Haji, G., & Asp, K., (2006). The Evolution of International Road Safety Benchmarking Models: Towards a Road Safety Development Index (RSDI). *The International Journal Science & Technology for Highways*, 3, 3–9.
- Allen, R., Athanassopoulos, A., Dyson, R.G., & Thanassoulis, E. (1997). Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: Evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, 73, 13–34.
- Alper, D., Sinuany-Stern, Z., & Shinar, D. (2015). Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using the Data Envelopment. *Accident Analysis and Prevention*, 78, 39–50.
- Amini, A., & Nikraz, N. A. (2017). Method for Constructing Non Isosceles Triangular Fuzzy Numbers using Frequency Histogram and Statistical Parameters. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 1(1), 65-85.
- Amini, M., Dabbagh, R., & Omrani H. (2019). A fuzzy data envelopment analysis based on credibility theory for estimating road safety. *Decision Science Letters*, 8, 275–284.
- An, Q., Meng, F., & Xiong, B. (2018). Interval cross efficiency for fully ranking decision making units using DEA/AHP approach. *Annals of Operations Research*, 271, 297–317.
- Anderberg, M.R. (1973). *Cluster Analysis for Applications*. Academic Press, Inc, New York.
- Anderson, T.R., Hollingsworth, K.B., & Inman, L.B. (2002). The fixed weighting nature of a cross-evaluation model. *Journal of Productivity Analysis*, 18(1), 249–255.

- Ang, S., An, Q., Yang, M., & Yang, F. (2018). Ranking ranges, performance Maverick and diversity for decision making units with interval cross-efficiency matrix. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1–14.
- Antić, B., Grdinić, M., Pešić, D., & Pajković, V. (2020). Benchmarking of the road safety performance among the regions by using DEA. *Transportation Research Procedia*, 45, 78–86.
- Antić, B., & Grdinić-Rakonjac, M. (2020). Evaluating the efficiency of EU and Balkan countries using Data Envelopment Analysis. *15th International Conference Road Safety in Local Communities, Vrnjačka Banja, Serbia*, 24–27.
- Antić, B., Grdinić-Rakonjac, M., & Pajković, V. (2022). Novel hybrid model for addressing uncertainty of the road safety composite indicator: integration of DEA and weighted GRA. *Transport, prihvaćen za publikovanje (14. 8. 2021.)*.
- Aparicio, J., Kapelko, M., & Monge, J.F. (2020). A Well-Defined Composite Indicator: An Application to Corporate Social Responsibility. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 186, 299–323.
- Appa, G., Argyris, N., & Williams, H.P. (2006). A methodology for cross-evaluation in DEA. *The London School of Economics and Political Science*.
- Awasthi, A., & Kannan, G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering* 91, 100-108.
- Babae, S., Shen, Y., Hermans, E., Wets, G., Brijs, T., & Ariën, C. (2014). Combining Driving Performance Information in an Index Score: A Simulated Curve-Taking Experiment. *Transportation Research Record*, 2434(1), 44-51.
- Babae, S., Toloo, M., Hermans, E., & Shen, Y. (2021). A new approach for index construction: The case of the road user behavior index. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 106993.
- Badi, I., & Pamučar, D. (2020). Supplier selection for steelmaking company by using combined grey-MARCOS methods. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 37–47.
- Banihashemi, S.A., & Khalilzadeh, M. (2020). A new approach for ranking efficient DMUs with data envelopment analysis. *World Journal of Engineering*, 17(4), 573–583.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., Swarts, J., & Thomas, D. (1989). An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. *Research in Government and Nonprofit Accounting*, 5, 125–163.

- Bao, C.P., Chen, T.H., & Chang, S.Y. (2008). Slack-based ranking method: an interpretation to the cross-efficiency method in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 59(6), 860–862.
- Bao, Q. (2010). Multi-criteria decision making techniques for combining different sets of road safety performance indicators into an overall index. Master thesis, Interfaculty institute transportation sciences, University of Hasselt.
- Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E., & Janssens, D. (2012). Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. *Knowledge-Based Systems*, 32, 84–90.
- Bastos, J.T. (2014). Road safety strategic analysis in Brazil: Indicator and index research. PhD Dissertation, Hasselt University, Hasselt, Belgium.
- Bastos, J.T., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Ferraz, A.C. (2014) Assessing Road Safety Performance by Data Envelopment Analysis – The Case of Brazil. *CICTP 2014: Safe, Smart, and Sustainable Multimodal Transportation Systems*, 2344–2356.
- Bastos, J.T., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Ferraz, A. C. (2015). Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 61–73.
- Bax, C., Wesemann, P., Gitelman, V., Shen, Y., Goldenbeld, C., Hermans, E., Doveh, E., Hakkert, S., Wegman, F., & Aarts, L. (2012). Developing a Road Safety Index. Deliverable 4.9 of the EC FP7 project.
- Behdani, Z., & Darehmiraki, M. (2019). An Alternative Approach to Rank Efficient DMUs in DEA via Cross-Efficiency Evaluation, Gini Coefficient, and Bonferroni Mean. *Journal of the Operations Research Society of China*.
- Behnood, H.R., Ayati, E., Hermans, E., & Pirayesh-Neghab, M.A. (2014). Road safety performance evaluation and policy making by data envelopment analysis: A case study of provincial data in Iran. *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering* 2014, 21(5), 1515–1528
- Behnood, H.R. (2018). Best practice analysis of action for road safety in Iran amongst the leading developing countries using an optimized success indicator. *Transport Policy*, 66, 76–84.
- Behnood, H.R., Rajabpour, M., Rassafi, A.A., & Hermans, E. (2020). Efficiency Analysis of Road Safety Pillars by Applying the Results of a Structural Equations Model in Data Envelopment Analysis. *International Journal of Transportation Engineering*, 7(3), 27.
- Ben-Gal I., Outlier Detection, In: Maimon, O., & Rockah, L. (Eds.). *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook: A Complete Guide for Practitioners and Researches*, Kluwer Academic Publishers, Boston 2005.

- Bird, S.M., Cox, D., Farewell, V.T., Goldstein, H., Holt, T., & Smith, P.C. (2005). Performance indicators: good, bad, and ugly. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, 168(1), 1–27.
- Booyesen, F. (2002). An overview and evaluation of composite indices of development. *Social Indicators Research*, 59, 115–151.
- Bowlin, W.F. (1998). Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). *Journal of Cost Analysis*, 7, 3–27.
- Božanić, D. & Pamučar, D. (2016). Modifikacija Saaty-jeve skale primenom fuzzy broja sa promenljivim intervalom poverenja: Primer procene opasnosti od poplava. U: Savić, S. & Stanković, M. (Eds.). *Analitički hijerarhijski proces – primena u energetici, zaštiti radne i životne sredine i obrazovanju*. Istraživačko-razvojni centar „Alfatec“ d.o.o., Centar za istraživanje kompleksnih sistema, Niš.
- Božanić, D. Tešić, D. & Milićević, J. (2018). A hybrid fuzzy AHP-MABAC model: application in the Serbian Army – The selection of the location for deep wading as a technique of crossing the river by tanks. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 143–164.
- Bucsuházy, K., Matuchová, E., Zůvala, R., Moravcová, P., Kostíková, M., & Mikulec, R. (2020). Human factors contributing to the road traffic accident occurrence. *Transportation Research Procedia*, 45, 555–561.
- Cao, B., Liu, Y., Qian, W-Y., & Wang, Y-H. (2015). Construction of the Evaluation System for Regional Road Traffic Safety and Application Based on A Grey Integrated Evaluation Model. *IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS)*, 395–403.
- Carifio, J. & Perla, R. (2007). Ten common misunderstandings, misconceptions, persistent myths and urban legends about Likert scales and Likert response formats and their antidotes. *Journal of Social Sciences*, 3(3), 106–116.
- Carifio, J. & Perla, R. (2008). Resolving the 50-year debate around using and misusing Likert scales. *Medical Education*, 42, 1150–1152.
- Castro-Nuño, M., & Arévalo-Quijada, M.T. (2018). Assessing urban road safety through multidimensional indexes: Application of multicriteria decision making analysis to rank the Spanish provinces. *Transport Policy*, 68, 118–129.
- Chang, S.J., Han, S., & Jo, S. (2020). Road safety performance across local governments: a data envelopment analysis approach. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27(4), 447–457.

- Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
- Chen, F., Wang, J., & Deng, Y. (2015). Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-RSR. *Safety Science*, 79, 39–54.
- Chen, F., Wu, J., Chen, X., Wang, J., & Wang, D. (2016). Benchmarking road safety performance: Identifying a meaningful reference (best-in-class). *Accident Analysis and Prevention*, 86, 76–89.
- Chen, F., Wang, J., Wu, J., Chen, X., & Zegras, P.C. (2017). Monitoring road safety development at regional level: A case study in the ASEAN region. *Accident Analysis and Prevention*, 106, 437–449.
- Chen, L., & Wang, Y.M. (2016). Data envelopment analysis cross-efficiency model in fuzzy environments. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(5), 2601–2609
- Cheng, E.W.L., & Li, H. (2001). Analytic hierarchy process: an approach to determine measures for business performance. *Measuring Business Excellence*, 5(3), 30–37.
- Cheng, Y.Q., & Ma, H.M. (2011). Application of Entropy Weight Technique in Grey Relational Analysis for Scheme Optimization of Sewage Treatment Plant. *Advanced Materials Research*, 199-200, 1722–1728.
- Cohen, B-Z. (1999). Measuring the Willingness to Seek Help, *Journal of Social Service Research*, 26(1), 67–82.
- Comrey, A.L. (1988). Factor-analytic methods of scale development in personality and clinical psychology. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 56(5), 754–761.
- Contreras, I. (2012). Optimizing the rank position of the DMU as secondary goal in DEA cross-evaluation. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 2642–2648.
- Cook, W.D., Kress, M., & Seiford, L.M. (1993). On the use of ordinal data in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 44(2), 133–140.
- Cook, W.D., Kress, M., & Seiford, L.M. (1996). Data envelopment analysis in the presence of both quantitative and qualitative factors. *Journal of Operational Research Society*, 47(7), 945–953.
- Cook, W.D., & Zhu, J. (2006). Rank order data in DEA: a general framework. *European Journal of Operational Research*, 174(2), 1021–1038.
- Cook, W.D., Tone, K., & Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 1–4.
- Cooper, W.W., Park, K.S., & Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA. *Management Science*, 45, 597–607.

- Cooper, W.W., Park, K.S., & Yu, G. (2001). An illustrative application of IDEA (Imprecise Data Envelopment Analysis) to a Korean mobile telecommunication company. *Operations Research*, 49(6), 807–820.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Tone, K., (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Use with DEA-Solver Software*. Springer Science Business Media, New York.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Tone, K., (2007a). *Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Springer Science Business Media, New York.
- Cooper, W.W., Ruiz, J.L., & Sirvent, I. (2007b). Choosing weights from alternative optimal solutions of dual multiplier models in DEA. *European Journal of Operational Research*, 180, 443–458.
- Cooper, W.W., Ruiz, J.L., & Sirvent, I. (2009). Selecting non-zero weights to evaluate effectiveness of basketball players with DEA. *European Journal of Operational Research*, 195, 563–574.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Zhu, J. (2011). *Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations*. In: Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Zhu, J. (Eds.). *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Springer Science Business Media, New York.
- Čubranić-Dobrodolac, M. (2021). *A decision-making model for explaining driver behavior*. Department of Transport Management, Marketing and Logistics, PhD Dissertation, Faculty of Transport Engineering, University of Pardubice, Pardubice, Czech Republic.
- Čubranić-Dobrodolac, M., Švadlenka, L., Čičević, S., & Dobrodolac, M. (2020). Modelling driver propensity for traffic accidents: a comparison of multiple regression analysis and fuzzy approach, *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27(2), 156-167.
- De la Rosa, S., Gil, M.Á., González-Rodríguez, G., López M.T., & Lubiano, M.A. Fuzzy Rating Scale-Based Questionnaires and Their Statistical Analysis. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23(1), 111–126.
- Deng, J. (1982). Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1(5), 288–294.
- Deng, Y., Chan, F.T.S., Wu, Y., & Wang, D. (2011). A new linguistic MCDM method based on multiple-criterion data fusion. *Expert Systems with Applications*, 38, 6985–6993.
- Despotis, D.K. (2002). Improving the discriminating power of DEA: Focus on globally efficient units. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 314–323.
- Despotis, D.K., & Smirlis, Y.G. (2002). Data envelopment analysis with imprecise data. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 24–36.

- Dingus, T.A., Guo, F., Lee, S., Antin, J. F., Perez, M., Buchanan-King, M., & Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2636–2641.
- Dinh, D.D., Vu, N.H., Mcllroy, R.C., Plant, K.A., & Stanton, N.A. (2020). Examining the roles of multidimensional fatalism on traffic safety attitudes and pedestrian behaviour. *Safety Science*, 124, 104587.
- Doyle, J., & Green, R. (1994). Efficiency and Cross-Efficiency in DEA; Derivations, Menings and Uses. *Journal of The Operational Research Society*, 45(5), 567–578.
- Duman, G.M., Kongar, E., & Gupta, S.M. (2019). A Holistic Grey-MCDM Approach for Green Supplier Elicitation in Responsible Manufacturing. In: Alqahtani, A.Y., Kongar, E., Pochampally, K.K., & Gupta, S.M. (Eds.). *Responsible Manufacturing: Issues Pertaining to Sustainability*, CRC Press, Boca Raton.
- Dyson, R.G., & Shale, E.A. (2010). Data envelopment analysis, operational research and uncertainty. *Journal of The Operational Research Society*, 61(1), 25–34.
- Egilmez, G., & McAvoy, D. (2013). Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis and Prevention*, 53, 55–64.
- Ehrgott, M., Holder, A., & Nohadani, O. (2018). Uncertain Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 268, 231–242.
- Eksler, V. (2009). Road Mortality in Europe: A Regional Approach. PhD Dissertation, Versailles St.-Quentin University, Versailles.
- Elvik et al. (2009). Citirano u: Bastos, J.T. (2014). Road safety strategic analysis in Brazil: Indicator and index research. PhD Dissertation, Hasselt University, Hasselt, Belgium.
- Emrouznejad, A., & Tavana, M. (Eds.). (2014) *Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis, Studies in Fuzziness and Soft Computing* 309, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Emrouznejad, A., Rostami-Tabar, B., & Petridis, K. (2016). A novel ranking procedure for forecasting approaches using Data Envelopment Analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, 111, 235–243.
- ETSC, European Transport Safety Council. (2001). *Transport Safety Performance Indicators*. Brussels.
- Falagario, M., Sciancalepore, F., Costantino, N., & Pietroforte, R. (2012). Using a DEA cross efficiency approach in public procurement tenders. *European Journal of Operational Research*, 218(2), 523–529.

- Fan, Z-P., Zheng, L-H., & Pan, D-H. (1996). A Subjective and Objective Synthetic Method for Multiple Attribute Decision Making. *IFAC Proceedings Volumes*, 29(1), 5635–5640.
- Fancello, G., Carta, M., & Serra P. (2020). Data Envelopment Analysis for the assessment of road safety in urban road networks: A comparative study using CCR and BCC models. *Case Studies on Transport Policy*, 8(3), 736–744.
- Fang, Z., Liu, S., Shi, H. & Lin, Y. (2009). *Grey game theory and its applications in economic decision-making*. Auerbach Publications, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, 120, 253–281.
- Finan, J.S., & Hurley, W.J. (1999). Transitive calibration of the AHP verbal scale, *European Journal of Operational Research*, 112, 367–372.
- Folla, K., Nikolaou, P., Dimitriou, L., & Yannis, G. (2021). Benchmarking Analysis of Road Safety Levels for an Extensive and Representative Dataset of European Cities, In: Nathanail E.G., Adamos G., Karakikes I. (Eds). *Advances in Mobility-as-a-Service Systems. CSUM 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1278. Springer, Cham.
- Foroughi, A.A. (2013). A revised and generalized model with improved discrimination for finding most efficient DMUs in DEA. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4067–4074.
- Foroughi, A.A., & Tavassoli, M.H. (2019). Discriminating extreme efficient decision making units in DEA using random weight vectors. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 305–312.
- Freudenberg, M. (2003). *Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment*, STI working paper 2003/16, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Gallup Organization. *Road safety – Analytical report*, 2010.
- Ganji, S.S., & Rassafi, A.A. (2019a) DEA Malmquist productivity index based on a double-frontier slacks-based model: Iranian road safety assessment. *European Transport Research Review*, 11, 4.
- Ganji, S.S., & Rassafi, A.A. (2019b). Measuring the road safety performance of Iranian provinces: a double-frontier DEA model and evidential reasoning approach. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 26(2), 156–169.
- Ganji, S.S., Rassafi, A.A., & Bandari S.J. (2020). Application of evidential reasoning approach and OWA operator weights in road safety evaluation considering the best and worst practice frontiers. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100706.

- Ganji, S.S., Rassafi, A.A., & Xu, D.L. (2019). A double frontier DEA cross efficiency method aggregated by evidential reasoning approach for measuring road safety performance. *Measurement*, 136, 668–688.
- Gitelman, V., Doveh, E., & Hakkert, S. (2010). Designing a composite indicator for road safety. *Safety Science*, 48(9), 1212-1224.
- Gitelman, V., Levi, S., Doveh E., & Endy-Findling, L. (2013a) Developing a Composite Index of Child Road Safety in a Municipality. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 3(2), 18–30.
- Gitelman, V., Auerbachb, K., & Doveh. E. (2013b). Development of road safety performance indicators for trauma management in Europe. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 412–423.
- Gnedenko, B.V. (2018). *Theory of Probability*, Routledge.
- Goker, N., & Karsak, E.E. (2021). Two-stage common weight DEA-Based approach for performance evaluation with imprecise data. *Socio-Economic Planning Sciences*, 74, 100943.
- Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237–250.
- Gomes et al. 2018, Viera Gomes, S., et al. (2018). "Portuguese mainland road network safety performance indicator." *Case Studies on Transport Policy*, 6(3): 416–422.
- Grdinić, M., & Pajković, V. (2015). Percepcija bezbednosti saobraćaja u Crnoj Gori. *Savetovanje Saobraćajne nezgode, Zlatibor, Srbija*, 212-222.
- Grdinić, M., & Pajković, V. (2016). Road safety perception: Gender differences – Montenegro case study, *International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE)*, Belgrade, Serbia. 649–654.
- Grdinić, M., & Antić B. (2017). Risk mapping in Montenegro using Data envelopment analysis. *XII International Conference on Road safety in local communities, Tara, Serbia*, 71–77.
- Grdinić, M., Antić, B., Pešić, D., & Pajković, V. (2019). Benchmarking road safety of Montenegro using data envelopment analysis. *European Transport\Trasporti Europei*, 73, 2.
- Grdinić-Rakonjac, & Pajković, V. (2020). Evaluating the road safety of local municipalities with application of GRA: Montenegro case study, *Transactions on Transport Sciences*, 11(3), 4–11.
- Grdinić-Rakonjac, M., Antić, B., & Pajković, V. (2020). Evaluation of road safety performance at micro level using grey data. *Put i Saobraćaj, Journal of Road and Traffic Engineering*, 66(3), 17–21.

- Grdinić-Rakonjac, M., Boris, A., Dalibor, P., & Vladimir, P. (2021a). Construction of Road Safety Composite Indicator Using Grey Relational Analysis. *Promet – Traffic & Transportation*, 33(1), 103–116.
- Grdinić-Rakonjac, M., Antić, B., & Pajković, V. (2021b). The hierarchical structure of indicators for construction of road safety composite index. 16th International Conference Road Safety in Local Community, Serbia.
- Guajardo, A., López, M.J., & Ruiz, I.G. (2015). Analysis of the reliability of the fuzzy scale for assessing the students' learning styles in Mathematics. Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology, Gijón, Spain, 727–733.
- Guo, X. (2004). Gray correlation method in regional competitiveness evaluation [J]. *Decision-making Reference*, 5(11), 35–55.
- Gutierrez, O., & Ruiz, J.L. (2013). Data envelopment analysis and cross-efficiency evaluation in the management of sports teams: The assessment of game performance of players in the Spanish handball league. *Journal of Sport Management*, 27(3), 217–229.
- Hakim, S., Shefer, D., Hakkert, A.S., & Hocherman, I. (1991). A critical review of macromodels for road accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 23(5), 379–400.
- Hakkert, A.S., Gitelman, V., & Vis, M.A. (Eds.). (2007). Road Safety Performance Indicators: Theory. Deliverable D3.6 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Hariri, R.H., Fredericks, E.M. & Bowers, K.M. (2019). Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges. *Journal of Big Data*, 6, 44.
- Hatami-Marbini, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., Agrell, P.J., Tavana, M., & Mohammadi, F., (2015). Extended Symmetric and Asymmetric Weight Assignment Methods in Data Envelopment Analysis, *Computers & Industrial Engineering*, 87, 621–631.
- Hens et al. (2005), citirano u Hermans, E. (2009). A Methodology for Developing a Composite Road Safety Performance Index for Cross-country Comparison. PhD Dissertation, Hasselt University, Hasselt, Belgium.
- Hermans, E., Van den Bossche, F. & Wets, G. (2006). Describing the Evolution in the Number of Highway Deaths by Decomposition in Exposure, Accident Risk, and Fatality Risk. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1950(1), 1–8.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., Wets, G. (2007). Impact of methodological choices on road safety ranking. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, DC.

- Hermans, E., Brijs, T., & Wets, G., (2008a). Developing a Theoretical Framework for Road Safety Performance Indicators and a Methodology for Creating a Performance Index. Steunpunt Mobiliteit and Openbare Werken – Spoor Verkeersveiligheid, Diepenbeek, Belgium.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2008b). Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1337–1344.
- Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009a). Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 41(1), 174–182.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2009b). Uncertainty assessment of the road safety index. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(7), 1220–1228.
- Hermans, E., Brijs, T., & Wets, G. (2010a). Bringing structure into road safety evaluation: A hierarchy of indicators. *15th international conference road safety on four continents*, 785, 273–281.
- Hermans, E., Ruan, D., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof. (2010b). Road safety risk evaluation by means of ordered weighted averaging operators and expert knowledge. *Knowledge-Based Systems*, 23, 48–52.
- Hodge, D. R., & Gillespie, D. (2003). Phrase completions: An alternative to Likert scale. *Social Work Research*, 27(1), 45–55.
- Hu, C-K., Liu, F-B., & Hu, C-F. (2017). Efficiency measures in fuzzy data envelopment analysis with common weights. *Journal of industrial and management optimization*, 13(1), 237–249.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis methods and software*. New York: Wiley.
- Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H., Jafari, Y., & Maddahi, R. (2011). Selecting symmetric weights as a secondary goal in DEA cross-efficiency evaluation. *Applied Mathematical Modelling* 35, 544–549.
- Jain, V., Kumar, A., Kumar, S., & Chandra, C. (2015). Weight restrictions in data envelopment analysis: A comprehensive genetic algorithm based approach for incorporating value judgments. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1503–1512.
- Jameel A.K., & Evdorides H. (2019). Assessment of safer road user behaviour. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 217, 755–767.
- Jameel, A.K., & Evdorides, H. (2021). Developing a safer road user behaviour index. *IATSS Research*, 45(1), 70–78.
- Jamieson, S. (2004). Likert scales: how to (ab)use them. *Medical Education*, 38(12), 1217–1218.

- Javed, S. A., Khan, A. M., Dong, W., Raza, A., & Liu, S. (2019). Systems Evaluation through New Grey Relational Analysis Approach: An Application on Thermal Conductivity – Petrophysical Parameters' Relationships. *Processes*, 7(6), 348.
- Javed, S.A., & Liu, S. (2019). Bidirectional Absolute GRA/GIA Model for Uncertain Systems: Application in Project Management. *IEEE Access*, 7, 60885–60896.
- Jiang, B., Lio, W., & Li, X. (2015). An Uncertain DEA Model for Scale Efficiency Evaluation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27(8), 1616–1624.
- Kang, L., & Wu, C. (2020). Evaluating the performance of Chinese provincial road safety based on the output–input ratio. *Transportation Letters*, 1–10.
- Kao, C. & Liu, S.T. (2000). Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 113, 427–437.
- Kao, C. (2006). Interval efficiency measures in data envelopment analysis with imprecise data. *Eur.J. Oper. Res.*, 174(2), 1087–1099.
- Kao, C. (2008). A linear formulation of the two-level DEA model, Omega. *International Journal of Management Science*, 36, 958–962.
- Khorasani, G., Reza M., Verki, M., Fereidoon, M., Motamed, H., et al. (2013). Evaluation of Road Safety Performance Based On Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 3(5), 168–172.
- Klyavin, V., Baryshev, N., Dvurechenskaya, A., & Zelikov, V. (2021). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1079, 072026.
- Koornstra, M., Lynam, D., Nilsson, G., Noordzij, P., Pettersson, H., Wegman, F., & Wouters, P. (2002). SUNflower: a comparative study of the developments of road safety in Sweden, the United Kingdom, and the Netherlands. Leidschendam, The Netherlands: SWOV Institute for Road Safety Research. The Netherlands.
- Lalla, M., Facchinetti, G., & Mastroleo, G. (2005). Ordinal scales and fuzzy set systems to measure agreement: An application to the evaluation of teaching activity. *Quality and Quantity*, 38, 577–601.
- Lam, K.F. (2010). In the determination of weight sets to compute cross-efficiency ratios in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 61, 134–143.
- Lee, T.W., Lin, C.W., Shin, S.H. (2012). A Comparative Study on Financial Positions of Shipping Companies in Taiwan and Korea Using Entropy and Grey Relation Analysis. *Expert Systems with Application*, 39(5), 5649–5657.
- Lee, Y-C. (2019). Ranking DMUs by Combining Cross-Efficiency Scores Based on Shannon's Entropy. *Entropy*, 21(5), 467.

- Lertworasirikul, S., (2001). Fuzzy Data Envelopment Analysis for Supply Chain Modelling and Analysis. Dissertation Proposal in Industrial Engineering, North Carolina State University, North Carolina, United States.
- Lesne A. (2014). Shannon entropy: a rigorous notion at the crossroads between probability, information theory, dynamical systems and statistical physics. *Mathematical Structures in Computer Science*, 24(3).
- Leung, S.C.H., Tsang, S.O.S., Ng, W.L., & Wu Y. (2007). A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment, *European Journal of Operational Research*, 181(1), 224–238.
- Li, G-D., Yamaguchi, D., & Nagai, M. (2007). A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. *Mathematical and Computer Modelling* 46, 573–581.
- Li, Q. (2013). A novel Likert scale based on fuzzy sets theory. *Expert Systems with Applications*, 40, 1609–1618.
- Li, X., Wang, K., Xin, J., Yang, H., Gao, C. & Liu, L. (2011). Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. *Procedia Engineering*, 26(4), 2085–2091.
- Liang, L., Wu, J., Cook, W.D., & Zhu, J. (2008). The DEA game cross-efficiency model and its Nash equilibrium. *Operations Research*, 56, 1278–1288.
- Liao, H., & Wu, X. (2019). DNMA: a double normalization-based multiple aggregation method for multi-expert multi-criteria decision making. *Omega*, 94, 102058.
- Lim, S. (2012). Minimax and maximin formulations of crossefficiency in DEA. *Computers & Industrial Engineering*, 62, 726–731.
- Lim, S., Oh, K. W., & Zhu, J. (2014). Use of DEA cross-efficiency evaluation in portfolio selection: An application to the Korean stock market. *European Journal of Operational Research*, 236, 361–368.
- Lin, P.H. (2014). A General Framework of Dealingwith Qualitative Data in DEA: A Fuzzy Number Approach, In: Emrouznejad, A., & Tavana, M. (eds.). *Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis, Studies in Fuzziness and Soft Computing* 309, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lipovac, K. (2008). Bezbednost saobraćaja. *Službeni list*, Beograd.
- Liu, B. (2012). Why is there a need for uncertainty theory? *Journal of Uncertain Systems*, 6(1), 3–10.
- Liu, G., Zhu, J., & Liu, X. (2019). Imputation method of random arbitrary missing data based on improved close degree of grey incidence. *Journal of Grey System*, 31(2), 74–97.

- Liu S., Fang Z. G., & Lin Y. (2006). Study on a new definition of degree of grey incidence. *Journal of Grey System*, 9(2), 115–122.
- Liu, S., & Lin, Y. (2006). *Grey Information. Theory and Practical Applications*. Springer-Verlag London Limited, Springer Science Business Media, New York.
- Liu, S., & Lin, Y. (2010). *Grey Systems. Theory and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Liu S., Forrest, J. & Yang, Y. (2013). Several Grey System Models which Used Most Commonly. 11th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 1558, 1695–1704.
- Liu, S., Yang, Y., & Forrest, J. (2016). *Grey Data Analysis. Methods, Models and Applications*. Springer Science Business Media, Singapore.
- Liu, S.T. (2018). A DEA ranking method based on cross-efficiency intervals and signal-to-noise ratio. *Annals of Operations Research*, 261(1–2), 207–232.
- Liu, Y., Huang, X., Duan, J., & Zhang, H. (2017). The assessment of traffic accident risk based on grey relational analysis and fuzzy comprehensive evaluation method. *Natural Hazards*, 88(3), 1409–1422.
- Lloyd, L.K., & Forster, J.J. (2014). Modelling trends in road accident frequency – Bayesian inference for rates with uncertain exposure. *Computational Statistics & Data Analysis*, 73, 189–204.
- Lovelace, M., & Brickamn,, P. (2013). Best Practices for Measuring Students' Attitudes toward Learning Science. *CBE – Life Sciences Education*, 12(4), 606–617.
- Lovell C.A.K., Walters L.C., & Wood L.L. (1994). Stratified Models of Education Production Using Modified DEA and Regression Analysis. In: Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M. (Eds.). *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*. Springer, Dordrecht.
- LTSA. (2000). *Road Safety Strategy 2010. A Consultation Document*. National Road Safety Committee, Land Transport Safety Authority LTSA, Wellington, New Zealand.
- Lu, M., & Wevers, K. (2007). Application of grey relational analysis for evaluating road traffic safety measures: Advanced driver assistance systems against infrastructure redesign. *IET Intelligent Transport Systems*, 1(1), 3–14.
- Luukkanen, L. (2003). *Safety management system and transport safety performance indicators in Finland*. Liikenneturva – Central Organisation for Traffic Safety in Finland.
- Ma, J., Fan, Z-P., & Huang, L-H. (1999). A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights. *European Journal of Operational Research*, 112(2), 397–404.

- Ma, Z., Shao, C., Ma, S., & Ye, Z. (2011). Constructing road safety performance indicators using Fuzzy Delphi Method and Grey Delphi Method. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1509-1514.
- Maghrabiea, H.F., Beauregard, Y., & Schiffauerova, A. (2019). Grey-based Multi-Criteria Decision Analysis approach: Addressing uncertainty at complex decision problems. *Technological Forecasting & Social Change* 146, 366–379.
- Mahmoudi A., Liu S., Javed, S.A., & Abbasi, M. (2019). A novel method for solving linear programming with grey parameters. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36, 161–172.
- Mahmoudi A., Mi, X., Liao, H., Feylizadeh, M.R., & Turskis, Z. (2020). Grey Best-Worst Method for Multiple Experts Multiple Criteria Decision Making Under Uncertainty, 31(2), 331–357.
- Makui, A., Alinezhad, A., Mavi, R.K., & Zohrebandian (2008). A goal programming method for finding common weights in DEA with an improved discriminating power for efficiency. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(4), 293–303.
- Manzoni, A. (2007). A new approach to performance measurement using data envelopment Analysis: Implications for Organisation Behaviour, Corporate Governance and Supply Chain Management. PhD Dissertation. Victoria Graduate School of Business, Faculty of Business and Law, Victoria University, Melbourne, Australia.
- Mardani, A., Zavadskas E.K., Khalifah, Z., Jusoh, A., & Khalil, M.D. (2016). Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: A systematic review of the state of the art literature. *Transport*, 31(3), 359–385.
- Masters, J.R. (1974). The relationship between number of response categories and reliability of Likert-type questionnaires. *Journal of Educational Measurement*, 11, 49–53.
- Meada, Y., Entani, T. & Tanaka, H., (1998). Fuzzy DEA with interval efficiency. 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, 2, 1067–1071.
- Mehrjerdi, Y.Z. (2014). Strategic system selection with linguistic preferences and grey information using MCDM. *Applied Soft Computing* 18, 323–337.
- Mello, J., Gomes, E.G., Meza, L.A., & Neto, L.B. (2008). Cross Evaluation using Weight Restrictions in Unitary Input DEA Models: Theoretical Aspects and Application to Olympic Games Ranking. *WSEAS Transactions On Systems*, 7(1), 31–39.
- Meng, W., Zhang, D., Qi, L., & Liu, W. (2008). Two-level DEA approaches in research evaluation. *Omega, International Journal of Management Science*, 36, 950–957.
- Mikšová, D., Elgner, J., Valach, O., & Ambros, J. (2018). Rating road safety performance of Czech regions using composite indicators. *Advances in Transportation Studies: an international Journal Section B*, 46, 153–162.

- Milićević, M., & Župac, G. (2012). Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma. *Vojnotehnički glasnik*, 60(1), 3956.
- Mirzapour A.S.M.J., Malekly, H., & Aryanezhad M.B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 134(1), 28–42.
- Mitrović Simić, J., Stević, Ž., Zavadskas, E.K., Bogdanović, V., Subotić, M., & Mardani, A. (2020). A Novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS Model for Safety Evaluation of Road Sections Based on Geometric Parameters of Road. *Symmetry*, 12(12).
- Morsink, P., Oppe, S., Reurings, M., & Wegman F. (2007). Development of Footprint Methodology for Road Safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2009, Transportation Research Board of the National Academies, 104–112.
- Mostofian, B., & Zuckerman, D.M. (2019). Statistical uncertainty analysis for small-sample, high Log-variance data: cautions for bootstrapping and Bayesian bootstrapping, *Journal of Chemical Theory and Computation*, 15(6), 3499–3509.
- Mousavi, S. M., Jolai, F., Reza, T.M., & Vahdani, B. (2013). A Fuzzy Grey Model Based on the Compromise Ranking for Multi-criteria Group Decision Making Problems in Manufacturing Systems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 24(4), 819–827.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and user guide. Retrieved November 20, 2014, from OECD Statistics Working Papers. 2005/03; OECD Publishing.
- Nie, W., & Shao, C. (2007). Weighted Gray Correlation Analysis Model Based on DEA and Its Application to Highway Network Evaluation. *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD*, 2, 65–70.
- Nikolaou, P., & Dimitriou, L. (2018). Evaluation of road safety policies performance across Europe: Results from benchmark analysis for a decade. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 232–246.
- Nikolić, M., Šelmić, M., Macura, D., & Čalić, J. (2020). Bee Colony Optimization Metaheuristic for Fuzzy Membership Functions Tuning. *Expert Systems with Applications*, 158, 113601.
- O’Neal, P. V., Ozcan, Y. A., & Yanqiang, M. (2002). Benchmarking mechanical ventilation services in teaching hospitals. *Journal of Medical Systems*, 26, 227–240.
- OECD, & Commission, J. o. t. E. (2008). Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Ispra, Italy.

- Oluwole, A.M., Rani, M.R.A., & Rohani, J.M. (2013). Integrating road safety indicators into performance road safety index. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(9), 693–698.
- Omrani, H. (2013). Common weights data envelopment analysis with uncertain data: A robust optimization approach. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 1163–1170.
- Omrani, H., Amini, M., & Alizadeh, A. (2020a). An integrated group best-worst method – Data envelopment analysis approach for evaluating road safety: A case of Iran. *Measurement*, 152, 107330.
- Omrani, H., Pegah, F., & Abdollah, M. (2020b). A data envelopment analysis game theory approach for constructing composite indicator: An application to find out development degree of cities in West Azarbaijan province of Iran. *Socio-Economic Planning Sciences* 69, 100675.
- Oral, M., Amin, G.R., & Oukil, (2014). A. Cross-Efficiency in DEA: A Maximum Resonated Appreciative Model, *Measurement*, 63, 159–167.
- Page, M., & Rackliff, L. (2006). Deriving and validating a road safety performance indicator for vehicle fleet passive safety. *50th annual proceedings/Association for the advancement of automotive medicine*, 50, 317–332.
- Pajković, V., & Grdinić, M. (2013). Pokazatelji stanja bezbednosti saobraćaja u Crnoj Gori. II naučno-stručna konferencija Bezbjednost saobraćaja u lokalnoj zajednici, Banja Luka, Bosna i Hercegovina.
- Pajković, V., & Grdinić, M. (2014a). Road traffic safety performance in Montenegro. *International virtual journal Machines, Technologies, Materials, MTM*, 2, 26–29.
- Pajković, V., & Grdinić, M. (2014b). Analiza uzroka i posledica saobraćajnih nezgoda na putevima u Crnoj Gori. *Savetovanje Saobraćajne nezgode, Zlatibor, Srbija*, 650–660.
- Pajković, V., & Grdinić, M. (2014c). Road safety – performance and perception: Montenegro case study, *International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE)*, Belgrade, Serbia, 1083–1088.
- Pajković, V., & Grdinić-Rakonjac, M. (2021). Evaluation of Road Safety Performance Based on Self-Reported Behaviour Data Set. *Sustainability*, 13(24), 13837.
- Pakkar, M. (2016). A Hierarchical Aggregation Approach for Indicators Based on Data Envelopment Analysis and Analytic Hierarchy Process. *Systems*, 4(1), 6.
- Papadimitriou, E., & Yannis, G. (2013). Is road safety management linked to road safety performance? *Accident Analysis and Prevention*, 59, 593–603.

- Park, K.S. (2007). Efficiency bounds and efficiency classifications in DEA with imprecise data. *Journal of The Operational Research Society*, 58(4), 533–540.
- Park, K.S. (2010). Duality, efficiency computations and interpretations in imprecise DEA. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 289–296.
- Pawlak, Z. (1982), Rough sets. *International Journal of Computer and Information Sciences*, 11(5), 341–356.
- Pennoni, 2005 Pennoni, F., Tarantola, S., Latvala, A., 2005. The 2005 European e-Business Readiness Index. Joint Research Centre.
- Pešić, D. (2012). Razvoj i unapređenje metoda za merenje nivoa bezbednosti saobraćaja na području. Doktorska disertacija. Saobraćajni fakultet. Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija.
- Pešić, D., Vujanić, M., Lipovac, K., & Antić, B. (2013). New method for benchmarking traffic safety level for the territory. *Transport*, 28(1), 69–80.
- PIARC. (2003). Road safety manual.
- Podinovski, V.V. (2016). Optimal weights in DEA models with weight restrictions. *European Journal of Operational Research*, 254(3), 916–924.
- Pourhabib A., Kordrostami S., Amirteimoori A., & Matin, R.K. (2018). Performance measurement in data envelopment analysis without slacks: an application to electricity distribution companies. *RAIRO Operations Research*, 52, 1069–1085.
- Premachandra, I.M. (2001). Controlling Factor Weights in Data Envelopment Analysis by Incorporating Decision Maker's Value Judgement: An Approach Based on AHP. *Information and Management Sciences*, 12(2), 67–82.
- Qazvini, A., Javanshir, H., & Seyedhosseni, S. (2016). An application of fuzzy TOPSIS for identifying and analyzing black spots suburban areas. *Management Science Letters*, 6(8), 561–568.
- Ramon, N., Ruiz, J.L. & Sirvent, I. (2010). On the choice of weights profiles in cross-efficiency evaluations. *European Journal of Operational Research*, 207, 1564–1572.
- Ramon, N., Ruiz, J.L. & Sirvent, I. (2011). Reducing differences between profiles of weights: A 'peer-restricted' cross-efficiency evaluation. *Omega*, 39, 634–641.
- Rassafi, A.A., Ganji, S.S., & Pourkhani, H. (2018) Road Safety Assessment under Uncertainty Using a Multi Attribute Decision Analysis Based on Dempster–Shafer Theory. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 3137–3152.
- René S,H., Becker, U., & Manz, H. (2016). Grey Systems Theory Time Series Prediction applied to Road Traffic Safety in Germany. *IFAC-PapersOnLine*, 49(3), 231–236.

- Rosić, M., Pešić, D., Kukić, D., Antić, B., & Božović, M. (2017). Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. *Accident Analysis and Prevention*, 98, 277–286.
- Rostamzadeh, R., Esmaeili, A., Sivilevičius, H., & Nobard, H.B.K. (2020). A fuzzy decision-making approach for evaluation and selection of third party reverse logistics provider using fuzzy ARAS. *Transport*, 35(6), 635–657.
- Russell, J., & Hollander, S. (1975). A biology attitude scale. *The American Biology Teacher*, 37(5), 270–273.
- Saati, A., & Memariani, A. (2005). Reducing weight flexibility in fuzzy DEA. *Applied Mathematics and Computation*, 161(2), 611–622.
- Saati, S., Hatami-Marbini, A., tavana, M., & Agrell, P.J. (2013). A fuzzy data envelopment analysis for clustering operating units with imprecise data. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 21(1), 29–54.
- Saborido, C.M. (2018). Techniques of weighting, scoring, modelling and management of uncertainty, In: Gonzalez, N.Z., Moreno, J.O., & Vega, A.H. (Eds.). *Multi-Criteria Decision Analysis in Healthcare. Its Usefulness and Limitations for Decision-making*. Fundacion Weber, Madrid.
- Saisana, M., & Tarantola, S. (2002). State-of-the-art Report on current methodologies and practices for composite indicator development, European Commission, Italy.
- Salahdine, F., Kaabouch, N., & El-Ghazi, H. (2017). Techniques for dealing with uncertainty in cognitive radio networks. 7th annual computing and communication workshop and conference (CCWC), IEEE, 1–6.
- Sengupta, J.K. (1992a). A fuzzy systems approach in data envelopment Analysis. *Computers & Mathematics with Applications*, 24(8–9), 259–266.
- Sengupta, J.K. (1992b). Measuring efficiency by a fuzzy statistical approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 46(1), 73–80.
- Sexton, T.R., Silkman, R.H., & Hogan, A. J. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions. In: R. H. Silkman (Ed.), *Measuring efficiency: An assessment of data envelopment analysis*, 32, 73–105, San Francisco: Jossey-Bass.
- Shah, S., Ahmad, N., Shen, Y., Pirdavani, A., Basheer, M., & Brijis, T. (2018). Road Safety Risk Assessment: An Analysis of Transport Policy and Management for Low-, Middle-, and High-Income Asian Countries. *Sustainability*, 10(2), 389.
- Shajedul, I. Evaluation of Low-Carbon Sustainable Technologies in Agriculture Sector through Grey Ordinal Priority Approach. *International Journal of Grey Systems*, 1(1), 5–26.

- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423, 623–656.
- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., & Wets, G (2020). Towards better road safety management: Lessons learned from inter-national benchmarking. *Accident Analysis and Prevention*, 138, 105484.
- Shen, Y. (2018) Developing a Comprehensive Road Safety Index: A Revisit of the SUNflowerNext Study. *Transportation Research Record*, 1–12.
- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., & Wets, G. (2015a). Serious injuries: An additional indicator to fatalities for road safety benchmarking. *Traffic Injury Prevention*, 16, 246–253.
- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., Wets, G., & Wang, W. (2015b). Inter-national benchmarking of road safety: State of the art. *Transportation Research Part C* 50, 37–50.
- Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., & Wets, G. (2013a). Road safety development in Europe: a decade of changes (2001–2010). *Accident Analysis and Prevention*, 60, 85–94.
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., & Wets, G. (2013b). Data Envelopment Analysis for Composite Indicators: A Multiple Layer Model. *Social Indicators Research*, 114(2), 739–756.
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2012). Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 430–441.
- Shen, Y., Ruan, D., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2011a). Modeling qualitative data in data envelopment analysis for composite indicators. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2(1), 21–30.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Brijs, T., & Vanhoof, K. (2011b). A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15262-15272.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Brijs, T., & Vanhoof, K. (2010b). Road Safety Performance Evaluation Based on a Multiple Layer Data Envelopment Analysis Model. 4th IRTAD conference, Seoul, Korea, 315-324.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Vanhoof, K., & Brijs, T. (2008). Development of a Composite Road Safety Performance Indicator based on Neural Networks. 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering, Xiamen, China, 901–906.

- Si, Q., & Ma, Z. (2019). DEA Cross-Efficiency Ranking Method Based on Grey Correlation Degree and Relative Entropy. *Entropy*, 21(10), 966.
- Sinuany-Stern, Z., & Friedman, L. (1998). DEA and the discriminant analysis of ratios for ranking units. *European Journal of Operational Research*, 111, 470–478.
- Sohraiee, S., & Lotfi, F.H. (2010). A Satisficing Game Theory Approach for Efficiency Evaluation with Interval Data. *Applied Mathematical Sciences*, 4(27), 1337–1353.
- Song, L., & Liu, F. (2018). An improvement in DEA cross-efficiency aggregation based on the Shannon entropy. *International Transactions in Operational Research*, 25(2), 705–714.
- Song, M., Zhu, Q., Peng, J., & Santibanez-Gonzalez, E.D.R. (2017). Improving the evaluation of cross efficiencies: A method based on Shannon entropy weight. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 99–106.
- Srđević, B. (2005). Nepriistrasna ocena značaja kriterijuma u višekriterijumskoj optimizaciji. *Vodoprivreda*, 37, 53–58.
- Srđević, B., Srđević, Z., Lakićević, M., & Galambošc, L. (2016). O objektivnim metodima određivanja težina kriterijuma u višekriterijumskim analizama i optimizaciji. *Annals of agronomy*, 40(1), 78–86.
- Stanković, M., Stević, Ž., Das, D.K., Subotić, M., & Pamučar, D. (2020). A new fuzzy MARCOS method for road traffic risk analysis. *Mathematics*, 8(3), 457.
- Stoma, M., Caban J., Dudziak, A., & Kuranc, A. (2021). Selected Aspects of the Road Traffic Safety Management System. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 23(2), F33–F42.
- Su, C-H., & Lu, T. (2019). An Entropy-Based Cross-Efficiency under Variable Returns to Scale. *Entropy*, 21(12), 1205.
- Sun, J., Wu, J., Wang, Y., Li, L., & Wang, Y. (2020). Cross-efficiency evaluation method based on the conservative point of view. *Expert Systems*, 37, e12336.
- Sutiwipakorn, W., & Prechaverakul, S. (2002). Thailand's Road Safety (ROSA) Index. 6th International Symposium Road Accidents Prevention, Novi Sad, Serbia, 179–184.
- Teodorović, D. (1999). Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art. *Transportation Research Part A*, 33, 337–364.
- Teodorović, D., & Vukadinović, K. (1998). *Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach*. Kluwer Academic Publishers, USA.
- Tešić, M., Hermans, E., Lipovac, K., & Pešić, D. (2018). Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index. *Accident Analysis and Prevention*, 113, 263–278.

- Thanassoulis, E., & Dunstan, P. (1994). Guiding Schools to Improved Performance Using Data Envelopment Analysis: An Illustration with Data from a Local Education Authority. *Journal of Operational Research Society*, 45(11), 1247–1262.
- Thanassoulis, E., Portela, M.C.S., & Despic, O. (2008). Data envelopment analysis: The mathematical programming approach to efficiency analysis. In: Fried, H.O., Lovell, C.A.K., & Schmidt, S.S. (Eds.). *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*. Oxford, New York.
- Tian, Y., Sun, X., Chen, L., & Huang, L. (2017). Risk Assessment of Nautical Navigational Environment Based on Grey Fixed Weight Cluster. *Promet - Traffic&Transportation*, 29(3), 331–42.
- Tracy, D.L., & Chen, B. (2005). A generalized model for weight restrictions in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 390–396.
- Tsang, S., Kao, B., Yip, K.Y., Ho, W-S., & Lee, S.D. (2011). Decision Trees for Uncertain Data. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 3 (1), 64–78.
- Tseng, M-L. & Chiu, A.S.F. (2013). Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. *Journal of Cleaner Production*, 40, 22-31.
- Tufail, M., Hussain, J., Hussain, H., Hafeez, I., & Ahmad, N. (2021). Analysis of Rural Roads in Developing Countries Using Principal Component Analysis and Simple Average Technique in the Development of a Road Safety Performance Index. *International Journal of Transport and Vehicle Engineering*, 15(3), 120–127.
- Utriainen, R., Pollanen, M., & Liimatainen. H. (2018). Road safety comparisons with international data on seriously injured. *Transport Policy*, 66, 138–145.
- Vats, S., Vats, G., Vaish, R., & Kumar, V. (2014). Selection of optimal electronic toll collection system for India: A subjective-fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*, 21, 444–452.
- Vis, M.A., & Eksler, V. (Eds.). (2008). *Road Safety Performance Indicators: Updated Country Comparisons*. Deliverable D3.11a of the EU FP6 project SafetyNet.
- Vis, M.A., & Van-Gent, A.L. (Eds.). (2007). *Road Safety Performance Indicators: Country Profiles*. Deliverable D3.7b of the EU FP6 project SafetyNet.
- Vonglao, P. (2017). Application of fuzzy logic to improve the Likert scale to measure latent variables. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 38(3), 337–344.
- Walden, J.B. (2006). Estimating vessel efficiency using a bootstrapped data envelopment analysis model. *Marine Resource Economics*, 21(2), 181–192.

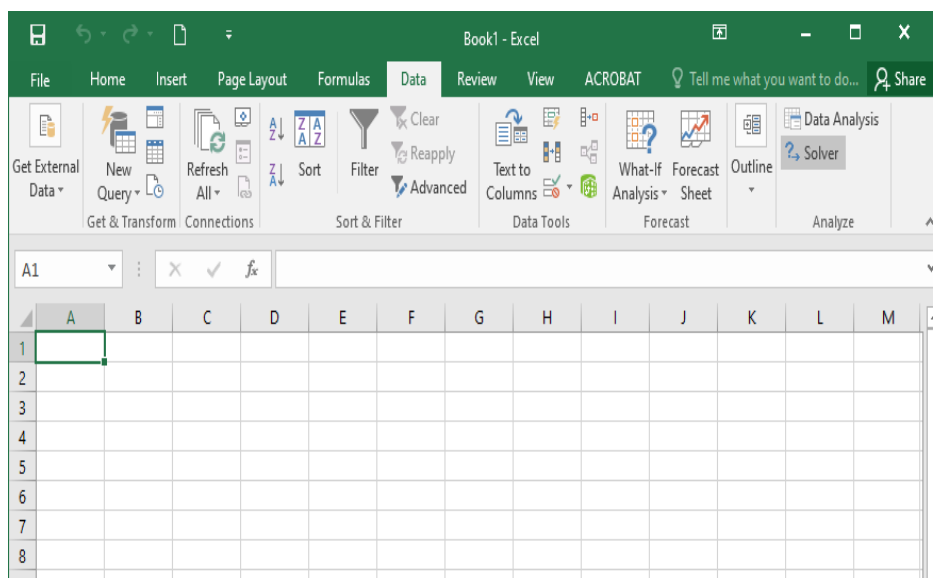
- Wang, L., Zhu, J., Lu, H., & Zheng, Y. (2012). Forecasting of Traffic Accident in Shanxi Province Based on Grey System Theory. 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China, 1–4.
- Wang, Q., Wei, K., Zhang, Y., & Wang, X. (2020). A Cross-Efficiency Method with Common Restrictions on Weights in Data Envelopment Analysis. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 37(5), 2050019.
- Wang, Y-M., & Chin, K.S. (2010a). A neutral DEA model for cross-efficiency evaluation and its extension. *Expert Systems with Applications*, 37, 3666–3675.
- Wang, Y-M., & Chin, K.S. (2010b) Some alternative models for DEA cross-efficiency evaluation. *International Journal of Production Economics*, 128, 332–338.
- Wang, Y-M., & Chin, K-S. (2011). The use of OWA operator weights for cross-efficiency aggregation. *Omega*, 39(5), 493–503.
- Wang, Y-M., Chin, K-S., & Wang, S. (2012). DEA models for minimizing weight disparity in cross-efficiency evaluation. *Journal of the Operational Research Society*, 63, 1079–1088.
- Wang, Y-M. & Wang, S. (2013) Approaches to determining the relative importance weights for cross-efficiency aggregation in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 64(1), 60–69.
- Weber, S., Tschech, K., Ernstberger, K., Labenski, V., & Blum, K. (2018). Different types of distraction causing accidents. 6th international conference on driver distraction and inattention DDI, 4–7. Gothenburg.
- Wegman, F., Eksler, V., Hayes, S., Lynam, D., Morsink, P., & Oppe, S. (2005). SUNflower+6. A comparative study of the development of road safety in the SUNflower+6 countries. Final report. Leidschendam, The Netherlands: SWOV Institute for Road Safety Research.
- Wegman, F., Commandeur, J., Doveh, E., Eksler, V., Gitelman, V., Hakkert, S., Lynam, D., & Oppe, S., (2008). SUNflowerNext: Towards a Composite Performance Index. SWOV, Leidschendam, The Netherlands: SWOV Institute for Road Safety Research, The Netherlands.
- Wegman, F., & Oppe, S. (2010). Benchmarking road safety performances of countries. *Safety Science*, 48(9), 1203–1211.
- Wei, G., Lu, G., Wei, C., & Wu, J. (2020). Probabilistic linguistic GRA method for multiple attribute group decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38, 4721–4732.
- Wen, M. (2015). *Uncertain Data Envelopment Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Wessa, P., (2017), Hierarchical Clustering (v1.0.5) in Free Statistics Software (v1.2.1), Office for Research Development and Education, URL: www.wessa.net/rwasp_hierarchicalclustering.wasp/
- WHO, World Health Organization, (2018). Global status report on road safety. Geneva.
- Wu, D. (2009). Performance evaluation: An integrated method using data envelopment analysis and fuzzy preference relations. *European Journal of Operational Research*, 194, 227–235.
- Wu, J., Liang, L., & Zha, Y.C. (2008). Determination of the weights of ultimate cross efficiency based on the solution of nucleolus in cooperative game. *Systems Engineering – Theory & Practice*, 28(5), 92–97.
- Wu, J., Liang, L., & Chen, Y. (2009a). DEA game cross-efficiency approach to Olympic rankings. *Omega*, 37, 909–918.
- Wu, J., Liang, L., & Yang, F., (2009b). Determination of the weights for the ultimate cross efficiency using Shapley value in cooperative game. *Expert System with Applications* 36, 1, 872–876.
- Wu, J., & Liang, L. (2010). A multiple criteria ranking method based on game cross-evaluation approach. *Annals of Operations Research*, 197, 191–200.
- Wu, J., Sun, J., & Liang, L. (2012). Cross efficiency evaluation method based on weight-balanced data envelopment analysis model. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 513–519.
- Wu, J., Sun, J., Liang, L., & Zha, Y. (2011a). Determination of weights for ultimate cross efficiency using Shannon entropy. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5162–5165.
- Wu, J., Sun, J., Zha, Y., & Liang, L. (2011b). Ranking approach of cross efficiency based on improved TOPSIS technique. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 22(4), 604–608.
- Wu, J., Chu, J., Sun, J., Zhu, Q., & Liang, L. (2016). Extended secondary goal models for weights selection in DEA cross efficiency evaluation. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 143–151.
- Xi, J., Wang, S., Zhou, N., Gao, Y., & Ding, Z. (2009). Grey Relational Analysis Method of Main Reasons of Road Traffic Accidents. *ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management*, 1–7.
- Yang, G-L., Yang, J-B., Liu, W-B., & Li, X-X. (2013). Cross-efficiency aggregation in DEA models using the evidential-reasoning approach. *European Journal of Operational Research*, 231(2), 393–404.
- Yang, Y., Liu, S., & Xie, N. (2019). Uncertainty and grey data analytics, *Marine Economics and Management*, 2(2), 73–86.

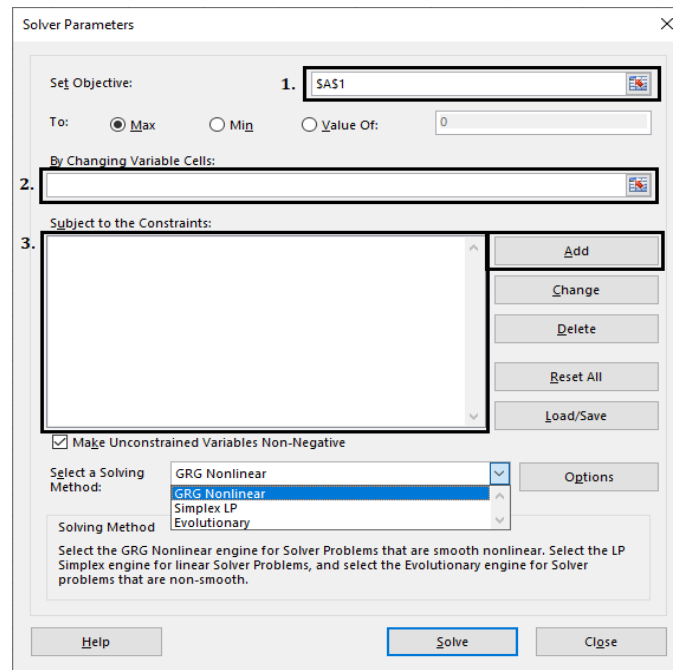
- Yannis, G., Weijer, W., Gitelman, V., Vis, M., Chaziris, A., Papadimitriou, E., & Azevedo, C.L. (2013). Road safety performance indicators for the interurban road network. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 384–395.
- Yucheng, D., Yinfeng, X., & Hongyi, L. (2008). A comparative study of the numerical scales and prioritization methods in AHP. *European Journal of Operational Research*, 186, 229–242.
- Yue, C. (2017). Entropy-based weights on decision makers in group decision-making setting with hybrid preference representations. *Applied Soft Computing*, 60, 737749.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zadeh, L.A. (2002). Toward a perception-based theory of probabilistic reasoning with imprecise probabilities. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 105(1), 233–264.
- Zadeh, L.A. (2005). Toward a generalized theory of uncertainty (GTU)-an outline. *Information Sciences*, 172(1–2), 1–40.
- Zahedi-Seresht, M., Jahanshahloo, G.R., Jablonsky, J., & Asghariniya, S. (2017). A new Monte Carlo based procedure for complete ranking efficient units in DEA models. *Numerical Algebra, Control & Optimization*, 7(4), 403–416.
- Zare, A., Feylizadeh, M.R., Mahmoudi A., & Liu S. (2018). Suitable computerized maintenance management system selection using grey group TOPSIS and fuzzy group VIKOR: A case study. *Decision Science Letters* 7, 341–358.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Tamošaitiene, J. (2009). Multi-Attribute Decision-Making Model by Applying Grey Numbers. *Informatica*, 20(2), 305–320.
- Zerafat-Angiz, M., Mustafa, A., & Kamali, M. J. (2013). Cross-ranking of decision making units in data envelopment analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (1–2), 398–405.
- Zhu, J. (2003). Imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and improvement with an application. *European Journal of Operational Research*, 144(3), 513–529.
- Zhu, J. (2004). Imprecise DEA via standard linear DEA models with a revisit to a Korean mobile telecommunication company. *Operations Research*, 52(2), 323–329.
- Zhu, J. (2014). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking. Data Envelopment Analysis with Spreadsheets*. Springer International Publishing Switzerland.
- Zhu, J., & Hipel, K.W. (2012). Multiple stages grey target decision making method within complete weight based on multi-granularity linguistic label. *Information Sciences*, 212, 15–32.
- Zong, F., Chen, X., Tang, J., Yu, P., & Wu, T. (2019). Analyzing Traffic Crash Severity with Combination of Information Entropy and Bayesian Network. *IEEE Access*, 7, 63288–63302.

PRILOZI**Prilog A.****Excel Solver**

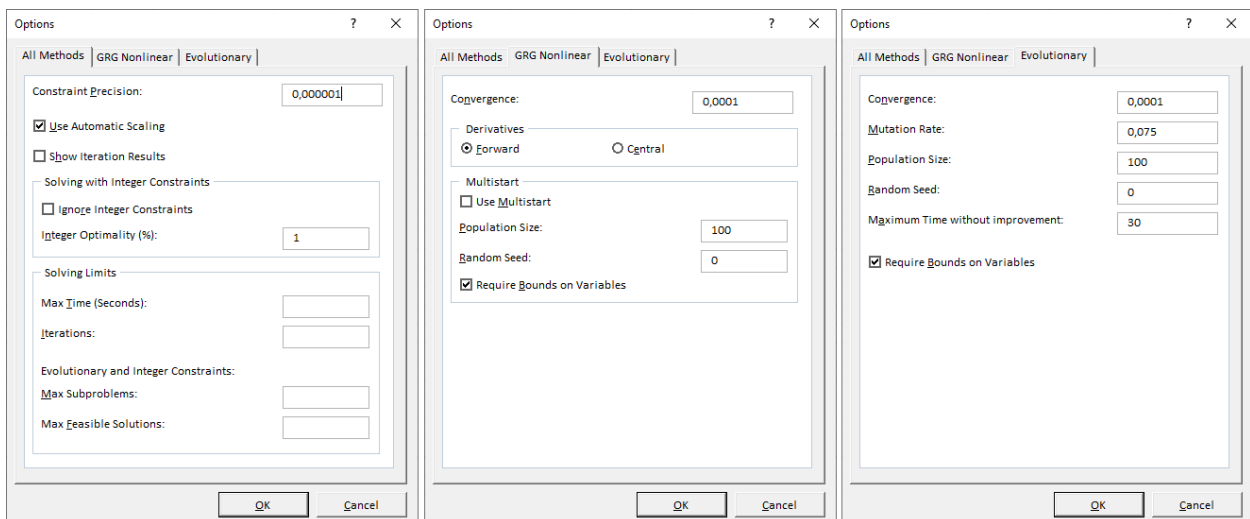
Excel Solver predstavlja alat za rešavanje problema optimizacije metodom linearnog programiranja, što podrazumeva i mogućnost primene pri rešavanju DEA modela. Pre primene Excel solvera, neophodno je jasno i pregledno urediti Excel tabelu kako bi se definisao skup jednačina i nejednačina koji će eksplicitno predstavljati ciljnu funkciju (objective function, eng.), promenljive (changing variable, decision variable, eng.) i ograničenja (constraints, eng.). Kada se Solver pokrene, prvo se unosi adresa odgovarajuće ćelije u Excel tabeli u kojoj se nalazi formula funkcije cilja (br. 1 na Slici A1) i za nju se definiše cilj optimizacije (maksimizacija (max), minimizacija (min) ili neka konkretna vrednost (value of)). Zatim se unose adrese ćelija koje predstavljaju promenljive i u kojima će na kraju biti ispisano rešenje modela (br. 2 na Slici A2). Sledeći korak je definisanje ograničenja koji se posebno dodaju (br. 3 na Slici A3), a zatim pritiskom komandnog tastera (Solve) pokreće model. Nakon toga, model ispisuje rešenje u ćelijama definisanim kao promenljive a, na osnovu njih se izračunava funkcija cilja i sve ostale vrednosti. Excel Solver pruža mogućnost podešavanja dodatnih opcija (Slika A3) ali i generisanje detaljnih izvještaja procesa rešavanja (Slika A4).



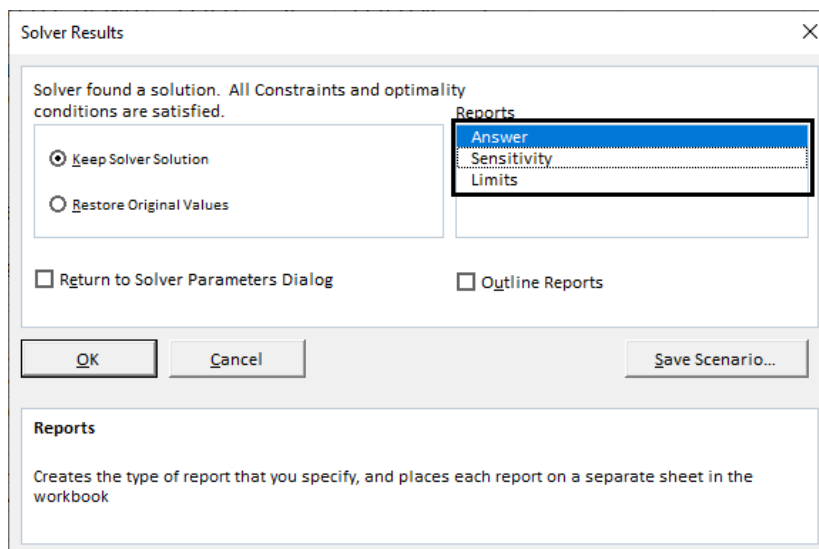
Slika A1. Lokacija Solvera u Excelu



Slika A2. Radno okruženje Excel Solver dodatka



Slika A3. Korisnički interfejs za podešavanje opcija Excel Solvera



Slika A4. Korisnički interfejs za generisanja izveštaja

Prilog B.**Tabela B1. Broj vozila u Crnoj Gori**

	Ukupan broj vozila				Broj vozila na 1000 stanovnika			
	min	max	avg	s.d.	2017	2018	2019	2017-2019
Andrijevića	1013	1092	1063	44	200	214	215	210
Bar	18205	21002	19571	1400	433	464	499	465
Berane	7002	7918	7516	468	206	225	233	221
Bijelo Polje	10207	11613	10902	703	222	236	252	237
Budva	12443	14350	13342	958	647	689	747	694
Cetinje	6073	6948	6510	438	365	391	417	391
Danilovgrad	5128	5807	5470	340	278	296	314	296
Herceg Novi	13159	14702	13960	773	426	454	476	452
Kolašin	1806	2048	1956	131	216	240	244	233
Kotor	10870	11989	11476	565	481	512	530	508
Mojkovac	1792	1864	1829	36	208	212	216	212
Nikšić	20337	23347	21857	1505	281	302	322	302
Plav	1935	2837	2434	459	193	148	216	186
Pljevlja	7466	8028	7731	282	243	250	261	251
Plužine	488	1218	745	410	150	375	163	230
Podgorica	76575	90061	83138	6750	412	445	484	447
Rožaje	4772	5627	5168	431	208	222	245	225
Šavnik	319	338	330	10	163	154	161	160
Tivat	7408	8837	8140	715	528	583	630	580
Ulcinj	8112	9351	8703	622	407	434	469	437
Žabljak	858	1017	933	80	858	1017	933	80

Tabela B2. Prikaz izabраниh karakteristika u Crnoj Gori

	dužina puteva (km)	površina opštine (km ²)	gustina mreže - km puteva na 1000 km ²	gustina mreže - km puteva na 1000 stanovnika	gustina naseljenosti - broj stanovnika na km ²	% magistralnih puteva	% regionalnih puteva
Andrijevića	102,7	283	362,90	20,25	18	0,32	0,10
Bar	231,9	598	387,79	5,52	70	0,19	0,18
Berane	415,5	717	579,50	12,23	47	0,09	0,13
Bijelo Polje	389,4	924	421,43	8,46	50	0,12	0,09
Budva	110,7	122	907,38	5,76	158	0,50	0,00
Cetinje	444	910	487,91	26,66	18	0,08	0,22
Danilovgrad	129,6	501	258,68	7,02	37	0,14	0,10
Herceg Novi	122,72	235	522,21	3,98	131	0,21	0,00
Kolašin	499	897	556,30	59,55	9	0,16	0,09
Kotor	277,3	335	827,76	12,27	67	0,18	0,21
Mojkovac	77,5	367	211,17	8,99	23	0,27	0,39
Nikšić	458	2065	221,79	6,32	35	0,16	0,33
Plav	348,6	485	718,76	26,59	27	0,10	0,06
Pljevlja	540,4	1346	401,49	17,55	23	0,08	0,24
Plužine	352,6	854	412,88	108,63	4	0,16	0,09
Podgorica	975,7	1441	677,10	5,25	129	0,11	0,04
Rožaje	250,6	432	580,09	10,91	53	0,15	0,21
Šavnik	197	553	356,24	95,17	4	0,00	0,31
Tivat	60,51	46	1315,43	4,31	305	0,17	0,00
Ulcinj	173,2	255	679,22	8,69	78	0,20	0,18
Žabljak	223,4	445	502,02	62,59	8	0,00	0,27

Tabela B3. Stanovništvo u Crnoj Gori prema polu i starosti

	Muškarci						Žene									
	18-24	%	25-54	%	55+	%	Σ	%	18-24	%	25-54	%	55+	%	Σ	%
Andrijevica	233	8,9	1057	40,4	938	35,9	2614	51,6	211	8,6	882	35,9	795	32,4	2457	48,5
Bar	2030	9,8	8607	41,6	5076	24,6	20670	49,2	2073	9,7	8986	42,0	4407	20,6	21378	50,8
Berane	1730	10,1	7032	41,2	3679	21,5	17087	50,3	1488	8,8	6448	38,2	3532	20,9	16883	49,7
Bijelo Polje	2500	10,8	9622	41,5	5028	21,7	23204	50,4	2166	9,5	8844	38,7	4487	19,6	22847	49,6
Budva	832	9,0	4203	45,6	1969	21,3	9224	48	1148	11,5	4579	45,8	1650	16,5	9994	52
Cetinje	885	11,0	3458	43,1	2108	26,2	8031	48,2	877	10,2	3508	40,7	2179	25,3	8626	51,8
Danilovgrad	1108	11,4	4202	43,3	2319	23,9	9704	52,5	834	9,5	3414	38,9	2009	22,9	8768	47,5
Herceg Novi	1274	8,5	6324	42,2	4122	27,5	14990	48,6	1385	8,7	6949	43,8	3746	23,6	15874	51,4
Kolašin	471	11,1	1840	43,5	1069	25,3	4229	50,5	343	8,3	1583	38,1	1092	26,3	4151	49,5
Kotor	1047	9,7	4601	42,5	2788	25,7	10834	48	1071	9,1	5033	42,8	2798	23,8	11764	52,1
Mojkovac	443	10,2	1880	43,2	1024	23,5	4352	50,5	351	8,2	1736	40,7	961	22,5	4270	49,5
Nikšić	3555	9,9	15255	42,7	8339	23,3	35751	49,4	3630	9,9	14721	40,1	7947	21,7	36692	50,7
Plav	787	11,8	2559	38,4	1453	21,8	6664	50,8	545	8,5	2428	37,7	1271	19,7	6444	49,2
Pljevlja	1316	8,7	6477	42,8	4384	29,0	15138	49,2	1178	7,5	6286	40,2	4396	28,1	15648	50,8
Plužine	155	9,3	670	40,2	553	33,2	1666	51,3	115	7,3	564	35,7	522	33,0	1580	48,7
Podgorica	9564	10,6	38528	42,5	18705	20,6	90614	48,7	10389	10,9	39871	41,8	16683	17,5	95323	51,3
Rožaje	1357	11,5	4729	40,2	1855	15,8	11776	51,3	1113	9,9	4324	38,6	1399	12,5	11188	48,7
Šavnik	102	9,5	464	43,3	312	29,1	1071	51,7	80	8,0	337	33,7	329	32,9	999	48,3
Tivat	610	8,8	3023	43,8	1693	24,5	6903	49,2	736	10,3	3083	43,3	1422	19,9	7128	50,8
Ulcinj	1041	10,5	4026	40,5	2461	24,8	9938	49,9	928	9,3	3974	39,8	2094	21,0	9983	50,1
Žabljak	170	9,6	745	42,0	543	30,6	1773	49,7	142	7,9	656	36,5	532	29,6	1796	50,3

Tabela B4. Saobraćajne nezgode i posledice u Crnoj Gori

	2017				2018				2019				Prosek			
	Ukupno SN	SN sa pog.	Nastr.	Pog.	Ukupno SN	SN sa pog.	Nastr.	Pog.	Ukupno SN	SN sa pog.	Nastr.	Pog.	Ukupno SN	SN sa pog.	Nastr.	Pog.
Andrijevica	10	0	9	0	11	1	4	1	4	0	3	0	8	0	5	1
Bar	463	5	225	5	500	2	234	2	518	3	225	4	494	3	228	4
Berane	53	2	34	2	84	4	57	4	86	1	66	1	74	2	52	2
Bijelo Polje	167	2	126	2	158	0	97	0	196	4	117	4	174	2	113	2
Budva	337	4	163	5	360	2	142	2	393	2	140	3	363	3	148	3
Cetinje	126	2	85	2	114	2	64	2	118	4	75	4	119	3	75	3
Danilovgrad	114	2	120	2	126	3	95	3	120	3	80	3	120	3	98	3
Herceg Novi	292	0	79	0	370	1	116	1	419	1	92	1	360	1	96	1
Kolašin	160	2	96	2	126	3	77	3	138	3	83	3	141	3	85	3
Kotor	297	6	125	7	368	5	103	5	442	2	137	2	369	4	122	5
Mojkovac	64	3	46	3	54	2	47	2	61	1	51	1	60	2	48	2
Nikšić	715	5	255	6	722	5	252	6	743	4	251	4	727	5	253	5
Plav	19	1	19	1	7	1	9	1	18	0	14	0	15	1	14	1
Pljevlja	81	0	52	0	93	1	49	1	104	0	86	0	93	0	62	1
Plužine	26	0	10	0	40	0	14	0	12	0	5	0	26	0	10	1
Podgorica	2238	19	1030	24	2177	10	994	12	2348	11	1177	11	2254	13	1067	16
Rožaje	74	0	37	0	88	1	47	1	55	1	28	1	72	1	37	1
Šavnik	11	0	6	0	10	0	7	0	11	0	1	0	11	0	5	1
Tivat	166	0	70	0	195	0	73	0	187	1	68	1	183	0	70	1
Ulcinj	232	1	109	1	227	1	109	1	183	2	76	2	214	1	98	1
Žabljak	33	1	15	1	42	1	21	1	54	2	26	2	43	1	21	1

Tabela B5. Mere rizika u Crnoj Gori

	SN i posledice na 10.000 vozila (2017-2019)				SN i posledice na 100.000 stanovnika (2017-2019)			
	Ukupno SN	SN sa pog.	Nastr.	Pog.	Ukupno SN	SN sa pog.	Nastr.	Pog.
Andrijevica	78	3	50	9	164	7	105	20
Bar	252	2	116	2	1174	8	542	9
Berane	99	3	70	3	219	7	154	7
Bijelo Polje	159	2	104	2	377	4	246	4
Budva	272	2	111	2	1891	14	772	17
Cetinje	183	4	115	4	716	16	448	16
Danilovgrad	219	5	180	5	650	14	532	14
Herceg Novi	258	0	69	0	1167	2	310	2
Kolašin	723	14	436	14	1687	32	1018	32
Kotor	322	4	106	4	1633	19	538	21
Mojkovac	326	11	262	11	692	23	557	23
Nikšić	332	2	116	2	1003	6	349	7
Plav	60	3	58	3	112	5	107	5
Pljevlja	120	0	81	1	301	1	202	3
Plužine	349	0	130	13	801	0	298	31
Podgorica	271	2	128	2	1212	7	574	8
Rožaje	140	1	72	1	315	3	163	3
Šavnik	323	0	141	30	515	0	225	48
Tivat	224	0	86	1	1302	2	501	7
Ulcinj	246	2	113	2	1074	7	492	7
Žabljak	461	14	222	14	1205	37	579	37

Prilog C.

Tabela C1. Uticaj određenih faktora na stanje bezbednosti prema kategorijama ispitanika

			1	2	3	4	5	Mean	SD	P(T<=t) two-tail
Vožnja pod uticajem alkohola	Pol	Muškarci	49,19	17,89	12,20	8,54	12,20	2,17	1,43	0,310
		Žene	48,15	22,22	18,52	3,70	7,41	2,00	1,22	
	Starost	<24g	44,12	21,76	15,29	7,65	11,18	2,20	1,37	0,310
		>24g	54,14	15,92	12,10	7,01	10,83	2,04	1,39	
	Iskustvo	<5g	38,82	13,53	16,47	8,82	11,18	2,26	1,42	0,023
		>5g	45,22	17,83	7,01	5,10	7,01	1,91	1,29	
Vožnja brzinom većom od dozvoljene	Pol	Muškarci	19,11	39,02	16,67	14,23	10,98	2,59	1,25	0,720
		Žene	20,99	40,74	13,58	13,58	11,11	2,53	1,28	
	Starost	<24g	21,18	38,82	15,29	13,53	11,18	2,55	1,27	0,677
		>24g	17,83	40,13	16,56	14,65	10,83	2,61	1,24	
	Iskustvo	<5g	17,65	34,71	14,12	13,53	8,82	2,59	1,25	0,847
		>5g	17,20	31,21	14,65	8,92	10,19	2,56	1,28	
Nepoštovanje propisa	Pol	Muškarci	17,89	15,85	40,65	18,70	6,91	2,81	1,14	0,082
		Žene	13,58	14,81	33,33	27,16	11,11	3,07	1,19	
	Starost	<24g	21,76	14,71	36,47	19,41	7,65	2,76	1,21	0,073
		>24g	11,46	16,56	41,40	22,29	8,28	2,99	1,09	
	Iskustvo	<5g	18,24	14,71	29,41	19,41	7,06	2,85	1,19	0,609
		>5g	11,46	13,38	34,39	16,56	6,37	2,91	1,11	
Upotreba telefona u toku vožnje	Pol	Muškarci	15,45	18,29	13,01	31,30	21,95	3,26	1,39	0,996
		Žene	14,81	14,81	23,46	23,46	23,46	3,26	1,37	
	Starost	<24g	17,06	17,06	12,35	31,18	22,35	3,25	1,42	0,861
		>24g	13,38	17,83	19,11	27,39	22,29	3,27	1,35	
	Iskustvo	<5g	16,47	17,06	10,59	28,24	16,47	3,12	1,40	0,018
		>5g	8,28	12,74	15,92	21,66	23,57	3,48	1,32	
Nedovoljna obučenosn mladih vozača	Pol	Muškarci	16,84	12,63	27,37	15,79	27,37	3,43	1,33	0,730
		Žene	18,18	4,55	18,18	31,82	27,27	3,55	1,47	
	Starost	<24g	18,52	11,11	23,15	16,67	30,56	3,46	1,40	0,651
		>24g	0,00	11,11	44,44	44,44	0,00	3,33	0,71	
	Iskustvo	<5g	11,43	10,00	27,14	15,71	35,71	3,56	1,37	0,096
		>5g	17,39	13,04	26,09	34,78	8,70	3,04	1,26	
Nekorišćenje sigurnosnog pojasa	Pol	Muškarci	13,82	10,16	26,83	19,92	29,27	3,41	1,37	0,890
		Žene	12,35	12,35	27,16	20,99	27,16	3,38	3,38	
	Starost	<24g	14,12	8,82	25,88	18,24	32,94	3,47	3,47	0,332
		>24g	12,74	12,74	28,03	22,29	24,20	3,32	3,32	
	Iskustvo	<5g	13,91	11,26	26,49	14,57	33,77	3,42	3,43	0,354
		>5g	13,79	11,21	29,31	25,00	20,69	3,28	3,28	

Tabela C2. Mere prema kategorijama ispitanika

			1	2	3	4	5	Mean	SD	P(T<=t) two-tail
Poboljšati stanje putne infrastrukture	Pol	Muškarci	49,59	15,04	11,79	11,79	11,79	2,21	1,45	0,767
		Žene	44,44	19,75	18,52	9,88	7,41	2,16	1,30	
	Starost	<24g	42,35	13,53	12,35	15,29	16,47	2,50	1,55	0,000
		>24g	54,78	19,11	14,65	7,01	4,46	1,87	1,17	
	Iskustvo	<5g	50,33	10,60	9,27	12,58	17,22	2,34	1,53	0,016
		>5	48,84	22,48	15,50	8,53	4,65	1,98	1,19	
Pojacati kontrolu policije	Pol	Muškarci	12,60	27,24	24,80	21,14	14,23	2,97	1,25	0,860
		Žene	12,35	27,16	23,46	22,22	14,81	3,00	1,26	
	Starost	<24g	15,29	22,94	20,59	23,53	17,65	3,05	1,34	0,262
		>24g	9,55	31,85	28,66	19,11	10,83	2,90	1,15	
	Iskustvo	<5g	14,57	27,15	21,85	22,52	13,91	2,96	1,28	0,732
		>5	10,08	29,46	23,26	24,03	13,18	3,01	1,22	
Unaprediti obuku vozača	Pol	Muškarci	11,38	21,95	22,36	23,98	20,33	3,20	1,30	0,875
		Žene	14,81	14,81	25,93	27,16	17,28	3,17	1,30	
	Starost	<24g	12,94	24,12	28,82	20,59	13,53	2,98	1,23	0,002
		>24g	11,46	15,92	17,20	29,30	26,11	3,43	1,34	
	Iskustvo	<5g	8,61	24,50	28,48	23,18	15,23	3,06	1,28	0,024
		>5	9,30	19,38	20,16	24,81	26,36	3,40	1,31	
Strože sankcionisati prekršaje	Pol	Muškarci	15,85	17,48	20,73	26,02	19,92	3,17	1,36	0,041
		Žene	19,75	25,93	19,75	22,22	12,35	2,81	1,32	
	Starost	<24g	20,59	21,18	19,41	23,53	15,29	2,92	1,37	0,024
		>24g	12,74	17,83	21,66	26,75	21,02	3,25	1,32	
	Iskustvo	<5g	17,88	18,54	22,52	26,49	14,57	3,03	1,30	0,427
		>5	20,16	13,18	20,16	24,03	22,48	3,16	1,44	
Češće kampanje o bezbednosti	Pol	Muškarci	9,76	19,11	19,92	17,48	33,74	3,46	1,38	0,040
		Žene	8,64	12,35	13,58	18,52	46,91	3,83	1,37	
	Starost	<24g	8,24	18,82	18,24	17,65	37,06	3,56	1,37	0,879
		>24g	10,83	15,92	18,47	17,83	36,94	3,54	1,40	
	Iskustvo	<5g	7,95	19,87	17,88	15,89	38,41	3,61	1,38	0,395
		>5	10,85	16,28	20,93	18,60	33,33	3,47	1,38	

Tabela C3. Prikaz podrške merama za mlade prema kategorijama ispitanika

	Pol				Starost				Iskustvo			
	Muškarci		Žene		<24g		>24g		<5g		>5g	
	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
Nulta tolerancija alkohola	78,13	21,88	90,63	9,38	75,63	24,37	95,12	4,88	76,47	23,53	91,53	8,47
Zabrana noćne vožnje	24,22	75,78	37,50	62,50	15,13	84,87	60,98	39,02	16,47	83,53	45,76	54,24
Ograničenje brzine	50,00	50,00	68,75	31,25	48,74	51,26	68,29	31,71	47,06	52,94	64,41	35,59
Ograničenje snage vozila	49,22	50,78	34,38	65,63	40,34	59,66	63,41	36,59	36,47	63,53	67,80	32,20
Zabrana putnika	24,22	75,78	21,88	78,13	17,65	82,35	41,46	58,54	20,00	80,00	32,20	67,80

Prilog D.

Tabela D1. Veličina uzorka prema opštinama

Opština	Br. stan.	% (br. stan.)	Uzorak	% (uzorak)
Andrijevića	5071	0,77	39	2,98
Bar	42048	0,15	62	4,74
Berane	33970	0,18	62	4,74
Bijelo Polje	46051	0,18	85	6,49
Budva	19218	0,37	72	5,50
Cetinje	16657	0,32	53	4,05
Danilovgrad	18472	0,16	30	2,29
Herceg Novi	30864	0,22	69	5,27
Kolašin	8380	0,48	40	3,06
Kotor	22601	0,48	108	8,25
Mojkovac	8622	0,37	32	2,44
Nikšić	72443	0,18	131	10,01
Plav	13108	0,31	40	3,06
Pljevlja	30786	0,12	38	2,90
Plužine	3246	1,36	44	3,36
Podgorica	185937	0,13	239	18,26
Rožaje	22964	0,17	39	2,98
Šavnik	2070	1,21	25	1,91
Tivat	14031	0,26	36	2,75
Ulcinj	19921	0,20	39	2,98
Žabljak	3569	0,73	26	1,99
Σ	620029		1309	100

Tabela D2. Pitanja o prekoračenju brzine, prema kategorijama ispitanika

		Nikad	Retko	Ponekad	Često	Veoma često	Uvek	Mean	SD	P(T<=t) two-tail	
V1	Pol	Muškarci	18,25	28,57	32,25	14,85	2,97	3,11	4,35	1,20	0,063
		Žene	23,26	27,91	25,91	9,14	7,81	5,98	4,32	1,43	
	Starost	<24g	23,05	27,95	24,21	15,27	3,75	5,76	4,34	1,38	0,352
		>24g	19,65	28,38	31,19	11,12	5,72	3,95	4,33	1,29	
	Iskustvo	<5g	26,94	31,37	26,94	8,12	3,32	3,32	4,61	1,24	0,000
		>5g	17,32	30,24	30,55	9,92	6,46	5,51	4,26	1,34	
V2	Pol	Muškarci	27,34	33,47	24,27	10,32	2,09	2,51	4,66	1,18	0,364
		Žene	35,93	26,32	22,02	7,45	4,30	3,97	4,70	1,35	
	Starost	<24g	32,56	26,22	26,22	8,07	3,17	3,75	4,66	1,30	0,798
		>24g	30,80	31,62	22,18	9,34	3,08	2,98	4,96	1,25	
	Iskustvo	<5g	43,54	28,78	19,19	4,43	2,21	1,85	5,01	1,14	0,000
		>5g	29,13	29,76	24,57	9,13	3,46	3,94	4,60	1,30	
V3	Pol	Muškarci	42,04	29,61	18,99	5,87	1,26	2,23	4,99	1,15	0,388
		Žene	46,33	29,00	14,50	4,83	2,50	2,83	5,03	1,22	
	Starost	<24g	43,80	28,53	18,16	5,76	1,73	2,02	5,01	1,15	0,649
		>24g	44,07	29,62	16,51	5,26	1,86	2,68	5,01	1,19	
	Iskustvo	<5g	55,72	24,72	12,92	4,43	1,48	0,74	5,27	1,02	0,000
		>5g	42,20	29,61	17,32	4,72	1,26	4,88	4,92	1,29	
V4	Pol	Muškarci	43,08	30,49	16,22	6,99	1,82	1,40	5,02	1,12	0,007
		Žene	45,62	24,46	16,36	7,27	3,80	2,48	4,93	1,28	
	Starost	<24g	44,09	24,78	15,27	9,22	2,88	3,75	4,87	1,34	0,619
		>24g	44,30	28,78	16,65	6,37	2,67	1,23	5,02	1,14	
	Iskustvo	<5g	56,09	23,99	11,07	5,90	1,48	1,48	5,23	1,11	0,002
		>5g	43,15	27,87	17,80	6,14	2,68	2,36	4,96	1,21	
V5	Pol	Muškarci	21,16	27,93	23,70	16,64	5,22	5,36	4,27	1,38	0,214
		Žene	27,91	28,24	17,73	10,51	6,73	8,87	4,33	1,57	
	Starost	<24g	28,32	22,54	16,18	15,90	8,67	8,38	4,21	1,60	0,911
		>24g	22,84	30,04	22,63	13,07	4,94	6,48	4,33	1,42	
	Iskustvo	<5g	35,42	28,04	16,61	14,02	3,32	2,58	4,70	1,31	0,000
		>5g	21,42	29,76	23,62	10,55	5,83	8,82	4,24	1,49	
V6	Pol	Muškarci	32,59	30,35	22,80	9,65	2,38	2,24	4,74	1,20	0,049
		Žene	41,45	25,49	20,39	8,06	2,80	1,81	4,89	1,21	
	Starost	<24g	35,16	30,26	19,88	8,93	2,31	3,46	4,77	1,27	0,391
		>24g	37,19	27,36	22,34	8,91	2,66	1,54	4,83	1,19	
	Iskustvo	<5g	45,76	27,31	18,82	4,80	2,21	1,11	5,06	1,10	0,036
		>5g	38,43	30,24	19,21	8,19	2,05	1,89	4,89	1,17	
V7	Pol	Muškarci	21,46	24,26	26,93	16,41	6,31	4,63	4,24	1,37	0,112
		Žene	25,99	25,99	24,34	9,54	5,76	8,39	4,32	1,51	
	Starost	<24g	28,65	19,48	22,06	17,48	6,30	6,02	4,29	1,49	0,309
		>24g	21,71	27,06	27,06	11,73	5,97	6,48	4,27	1,42	
	Iskustvo	<5g	31,37	26,57	25,09	12,55	1,85	2,58	4,65	1,24	0,000
		>5g	23,15	28,82	23,46	10,71	5,67	8,19	4,29	1,48	
V8	Pol	Muškarci	36,95	28,35	23,27	6,63	2,40	2,40	4,84	1,20	0,187
		Žene	46,60	23,38	18,08	6,97	2,99	1,99	4,98	1,23	
	Starost	<24g	42,17	24,70	16,27	11,45	2,41	3,01	4,84	1,31	0,470
		>24g	41,12	26,53	22,45	5,20	2,76	1,94	4,92	1,18	
	Iskustvo	<5g	52,77	22,88	14,39	6,27	1,48	2,21	5,13	1,18	0,036
		>5g	41,57	28,50	19,69	5,35	2,83	2,05	4,94	1,19	
V9	Pol	Muškarci	27,43	26,30	21,94	15,05	4,36	4,92	4,43	1,40	0,042
		Žene	34,34	26,77	16,16	8,59	5,39	8,75	4,50	1,58	
	Starost	<24g	28,74	24,55	21,26	13,17	6,59	5,69	4,39	1,41	0,811
		>24g	31,20	27,19	18,64	11,74	4,22	7,00	4,48	1,48	
	Iskustvo	<5g	39,11	23,62	21,40	9,59	2,58	3,69	4,76	1,32	0,006
		>5g	30,39	29,13	18,27	9,29	4,25	8,66	4,46	1,53	

Tabela D3. Pitanja o konzumiranju alkohola, prema kategorijama ispitanika

		Nikad	Retko	Ponekad	Često	Veoma često	Uvek	Mean	SD	P(T<=t) two-tail	
A1*	Pol	Muškarci	72,57	23,59	3,84	-	-	-	5,34	2,04	0,015
		Žene	78,55	17,16	4,29	-	-	-	5,44	1,91	$\chi^2=8,36$
	Starost	<24g	81,56	15,27	3,17	-	-	-	5,54	1,74	0,007
		>24g	73,08	22,57	4,35	-	-	-	5,33	1,24	$\chi^2=9,95$
	Iskustvo	<5g	85,24	12,55	2,21	-	-	-	5,82	0,62	0,000
		>5g	71,02	23,62	5,35	-	-	-	5,70	0,76	$\chi^2=20,82$
A2	Pol	Muškarci	81,34	11,80	4,66	1,51	0,41	0,27	5,71	0,70	0,222
		Žene	84,46	10,25	3,80	0,33	0,66	0,50	5,76	0,68	
	Starost	<24g	87,32	8,07	2,31	1,44	0,29	0,58	5,79	0,67	0,191
		>24g	81,16	12,16	4,96	0,81	0,61	0,30	5,72	0,70	
	Iskustvo	<5g	88,56	8,49	1,48	0,37	0,37	0,74	5,82	0,62	0,009
		>5g	80,79	12,13	5,20	0,47	0,63	0,79	5,70	0,76	
A3	Pol	Muškarci	74,62	14,95	6,31	2,74	0,69	0,69	5,58	0,87	0,104
		Žene	78,51	10,41	6,78	2,64	1,16	0,50	5,61	0,88	
	Starost	<24g	80,12	11,82	4,90	1,73	0,58	0,86	5,67	0,82	0,161
		>24g	75,08	13,27	7,09	3,04	1,01	0,51	5,57	0,89	
	Iskustvo	<5g	84,13	10,70	3,69	0,37	0,37	0,74	5,76	0,69	0,000
		>5g	73,03	14,98	7,26	2,68	1,42	0,63	5,54	0,92	
A4	Pol	Muškarci	72,29	11,39	8,64	4,25	2,06	1,37	5,43	1,09	0,006
		Žene	77,48	6,79	7,12	4,47	3,31	0,83	5,48	1,11	
	Starost	<24g	80,12	8,65	5,19	1,73	3,17	1,15	5,57	1,03	0,038
		>24g	72,72	9,53	8,92	5,27	2,43	1,12	5,41	1,12	
	Iskustvo	<5g	84,50	9,23	4,06	0,37	0,74	1,11	5,73	0,78	0,000
		>5g	71,77	11,04	9,46	3,94	3,00	0,79	5,42	1,09	

* Odgovori su: Ne, Da nakon manjih količina alkohola, Da bez obzira na količinu, respektivno

Tabela D4. Pitanja o korišćenju pojasa, prema kategorijama ispitanika

			Nikad	Retko	Ponekad	Često	Veoma često	Uvek	Mean	SD	P(T<=t) two-tail
P1*	Pol	Muškarci	83,03	16,97	-	-	-	-	5,15	1,88	0,977
		Žene	82,98	17,02	-	-	-	-	5,15	1,88	$\chi^2=0,00$
	Starost	<24g	80,69	19,31	-	-	-	-	5,03	1,97	0,182
		>24g	83,49	16,11	-	-	-	-	5,18	1,84	$\chi^2=1,79$
	Iskustvo	<5g	92,25	7,75	-	-	-	-	5,06	1,50	0,029
		>5g	87,22	12,78	-	-	-	-	4,95	1,63	$\chi^2=4,80$
P2	Pol	Muškarci	5,76	6,72	10,70	10,15	7,54	59,12	4,84	1,62	0,109
		Žene	7,26	6,11	10,73	9,24	6,93	59,74	4,82	1,67	
	Starost	<24g	6,34	4,32	10,66	8,07	9,80	60,81	4,93	1,59	0,146
		>24g	6,48	7,19	10,73	10,32	6,38	58,91	4,80	1,66	
	Iskustvo	<5g	3,69	5,17	10,70	9,59	3,69	67,16	5,06	1,50	0,328
		>5g	6,35	6,35	7,94	9,84	4,29	65,24	4,95	1,63	
P3	Pol	Muškarci	8,73	5,87	14,19	10,91	7,23	53,07	4,61	1,73	0,001
		Žene	10,45	10,28	12,60	7,96	6,80	51,91	4,46	1,85	
	Starost	<24g	9,97	4,84	12,25	11,11	7,12	54,70	4,65	1,75	0,187
		>24g	9,34	8,93	13,91	9,04	7,01	51,78	4,51	1,79	
	Iskustvo	<5g	6,27	6,64	14,02	9,59	5,17	58,30	4,76	1,67	0,161
		>5g	9,89	8,29	12,12	9,09	5,42	55,18	4,57	1,81	
P4	Pol	Muškarci	12,50	7,55	13,19	9,62	9,48	47,66	4,39	1,85	0,000
		Žene	19,01	9,09	10,58	9,42	5,79	46,12	4,12	2,02	
	Starost	<24g	15,03	7,80	9,25	9,83	9,54	48,55	4,37	1,91	0,029
		>24g	15,60	8,41	12,97	9,42	7,19	46,40	4,23	1,93	
	Iskustvo	<5g	10,33	6,27	13,28	8,86	4,80	56,46	4,61	1,80	0,014
		>5g	16,19	9,84	10,16	8,41	4,92	50,48	4,27	1,99	
P5	Pol	Muškarci	7,96	8,92	13,85	9,88	14,13	45,27	4,49	1,71	0,452
		Žene	9,95	6,80	13,43	9,45	10,95	49,42	4,53	1,76	
	Starost	<24g	9,51	9,22	10,66	11,24	12,97	46,40	4,48	1,76	0,586
		>24g	8,63	7,51	14,72	9,14	12,59	47,41	4,52	1,73	
	Iskustvo	<5g	6,27	11,44	12,92	9,59	9,23	50,55	4,56	1,72	0,624
		>5g	7,94	7,14	13,02	9,68	11,75	50,48	4,62	1,70	
P6	Pol	Muškarci	7,54	10,70	16,19	11,66	14,54	39,37	4,33	1,70	0,232
		Žene	11,78	9,00	15,38	10,64	11,78	41,41	4,26	1,81	
	Starost	<24g	9,35	11,61	15,30	12,46	12,75	38,53	4,23	1,75	0,616
		>24g	9,52	9,32	16,01	10,74	13,48	40,93	4,32	1,75	
	Iskustvo	<5g	6,27	13,65	14,39	12,55	10,70	42,44	4,35	1,71	0,764
		>5g	8,73	8,25	17,46	10,16	12,22	43,17	4,38	1,73	
P7	Pol	Muškarci	11,00	11,97	18,57	9,22	15,13	34,11	4,08	1,78	0,029
		Žene	17,36	9,42	16,69	10,74	8,93	36,86	3,95	1,91	
	Starost	<24g	13,26	15,56	13,26	12,97	11,53	33,43	3,94	1,84	0,489
		>24g	14,11	9,14	19,29	8,83	12,59	36,04	4,05	1,84	
	Iskustvo	<5g	9,96	13,65	16,97	11,07	8,12	40,22	4,14	1,81	0,960
		>5g	13,17	8,41	18,89	9,37	11,90	38,25	4,13	1,83	
P8	Pol	Muškarci	17,70	5,29	10,34	8,28	10,57	47,82	4,32	1,96	0,132
		Žene	13,70	4,57	12,26	6,73	5,05	57,69	4,58	1,89	
	Starost	<24g	25,93	10,49	11,73	8,02	5,56	38,27	3,72	2,09	0,000
		>24g	13,35	3,63	11,18	7,40	8,42	56,02	4,62	1,84	
	Iskustvo	<5g	23,46	10,49	15,43	12,35	4,94	33,33	3,65	1,99	0,000
		>5g	12,53	4,40	10,11	6,81	5,93	60,22	4,70	1,84	
P9	Pol	Muškarci	18,16	6,90	10,34	7,36	12,41	44,83	4,23	1,97	0,090
		Žene	14,49	5,07	11,35	7,25	6,28	55,56	4,52	1,91	
	Starost	<24g	28,40	11,11	9,26	6,17	9,26	35,80	3,64	2,12	0,000
		>24g	13,54	4,80	11,21	7,57	9,46	53,42	4,55	1,86	
	Iskustvo	<5g	25,00	9,76	14,02	10,37	7,32	33,54	3,66	2,02	0,000
		>5g	13,60	4,17	11,18	6,80	7,89	56,36	4,60	1,86	
P10	Pol	Muškarci	16,39	8,20	12,88	8,67	12,65	41,22	4,17	1,92	0,155
		Žene	14,76	5,95	11,43	8,10	6,19	53,57	4,46	1,92	
	Starost	<24g	25,31	15,43	8,02	6,17	9,88	35,19	3,65	2,09	0,000
		>24g	13,28	5,11	13,14	8,91	9,34	50,22	4,47	1,85	
	Iskustvo	<5g	21,64	11,11	16,37	9,36	6,43	35,09	3,73	1,99	0,000
		>5g	13,26	4,84	13,26	9,05	6,74	52,84	4,50	1,86	

* Odgovori su: Da, Ne, respektivno

Tabela D5. Pitanja o korišćenju telefona prema kategorijama ispitanika

		Nikad	Retko	Ponekad	Često	Veoma često	Uvek	Mean	SD	P(T<=t) two-tail	
T1*	Pol	Muškarci	57,58	42,42	-	-	-	-	3,12	2,47	0,112
		Žene	53,22	46,78	-	-	-	-	3,34	2,49	$\chi^2=2,53$
	Starost	<24g	51,04	48,96	-	-	-	-	3,45	2,50	0,052
		>24g	57,14	42,86	-	-	-	-	3,14	2,47	$\chi^2=3,79$
	Iskustvo	<5g	44,65	55,35	-	-	-	-	1,99	1,47	0,000
		>5g	58,14	41,86	-	-	-	-	1,91	1,52	$\chi^2=13,9$
T2	Pol	Muškarci	67,04	10,85	8,48	5,29	1,95	6,40	1,83	1,46	0,086
		Žene	67,60	10,25	8,93	4,13	2,98	6,12	1,83	1,47	
	Starost	<24g	65,28	11,28	7,72	8,01	1,78	5,93	1,88	1,46	0,733
		>24g	67,98	10,33	9,02	3,65	2,63	6,38	1,82	1,46	
	Iskustvo	<5g	56,83	16,61	11,81	6,64	1,48	6,64	1,99	1,47	0,435
		>5g	65,46	9,94	9,62	5,21	2,84	6,94	1,91	1,52	
T3	Pol	Muškarci	69,44	10,00	8,61	4,17	2,78	5,00	1,76	1,39	0,015
		Žene	72,07	10,74	6,61	3,97	1,98	4,63	1,67	1,32	
	Starost	<24g	68,64	8,58	8,28	7,40	1,78	5,33	1,81	1,43	0,738
		>24g	71,33	10,94	7,50	2,94	2,63	4,66	1,69	1,34	
	Iskustvo	<5g	61,99	14,02	9,59	6,27	2,58	5,54	1,90	1,44	0,258
		>5g	69,19	9,79	8,69	4,11	2,37	5,85	1,78	1,43	
T4	Pol	Muškarci	60,31	18,66	11,28	5,71	2,37	1,67	5,24	1,17	0,642
		Žene	60,40	18,48	10,73	6,27	1,82	2,31	5,22	1,20	
	Starost	<24g	55,49	17,51	12,46	8,61	2,97	2,97	5,05	1,33	0,677
		>24g	62,01	18,95	10,54	5,07	1,82	1,62	5,29	1,12	
	Iskustvo	<5g	67,16	16,24	8,49	5,17	1,85	1,11	5,38	1,08	0,340
		>5g	60,09	21,77	11,51	4,10	0,63	1,89	5,31	1,07	
T5	Pol	Muškarci	57,36	18,06	10,69	6,11	4,03	3,75	5,07	1,37	0,131
		Žene	59,77	13,25	11,26	7,95	4,30	3,48	5,06	1,40	
	Starost	<24g	52,52	16,02	10,68	8,31	5,64	6,82	4,81	1,59	0,585
		>24g	60,49	15,81	11,04	6,48	3,65	2,53	5,15	1,30	
	Iskustvo	<5g	70,48	11,81	8,12	5,17	2,58	1,85	5,37	1,18	0,031
		>5g	59,24	17,85	12,16	5,21	3,63	1,90	5,18	1,23	

* Odgovori su: Da, Ne, respektivno

Prilog E.

III sloj	ULAZNI PODACI												IZLAZNI PODACI									
	PERCEPCIJA				ČOVEK				VOZILO				INFRASTRUKTURA				SAOBRAĆAJNE NEZGODE				POSLEDICE	
	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	SM1	SM2	Sezon	PUT	% mag. puteva	% reg. puteva	Indeks razv.	% mlađih nas.	Gustina mreže	% mag. puteva	SN sa mat. štetom	SN sa pov. poginulim	Poginuli	Povređeni
I sloj	0,972	1,000	0,993	0,946	0,921	0,899	0,695	0,922	0,302	0,077	1,000	0,276	0,641	0,252	0,265	0,779	0,059	1,000	0,600	1,000	0,667	0,933
Andrijevica	0,985	0,792	0,997	0,981	0,973	0,963	0,872	0,951	0,670	0,627	0,188	0,295	0,380	0,468	0,640	0,842	0,230	0,016	0,060	0,017	0,182	0,021
Bar	0,990	0,795	0,997	0,975	0,951	0,899	0,700	0,930	0,319	0,134	0,725	0,441	0,187	0,323	0,372	0,894	0,154	0,142	0,086	0,078	0,286	0,093
Berane	0,990	0,795	0,998	0,979	0,923	0,975	0,837	0,920	0,341	0,208	0,313	0,320	0,246	0,239	0,413	0,920	0,164	0,054	0,100	0,037	0,333	0,042
Bijelo Polje	0,992	0,784	0,998	0,996	0,719	0,890	0,732	0,786	1,000	0,896	0,125	0,690	1,000	0,000	1,000	0,763	0,518	0,020	0,075	0,027	0,200	0,032
Budva	0,985	0,798	0,997	0,968	0,928	0,835	0,669	0,808	0,563	0,109	0,313	0,371	0,162	0,570	0,581	0,924	0,059	0,082	0,075	0,051	0,250	0,065
Cetinje	0,990	0,798	0,997	0,972	0,998	1,000	0,747	0,929	0,427	0,314	0,725	0,197	0,286	0,259	0,605	0,973	0,121	0,086	0,075	0,048	0,250	0,049
Danilovgrad	0,982	0,795	0,995	0,975	0,681	0,888	0,846	0,846	0,651	0,846	0,163	0,397	0,423	0,000	0,735	0,692	0,430	0,019	0,300	0,035	1,000	0,049
Herceg Novi	0,987	0,803	0,997	0,963	0,969	0,924	0,848	0,791	0,336	0,029	0,288	0,423	0,316	0,221	0,472	0,892	0,030	0,062	0,075	0,051	0,250	0,056
Kolašin	0,985	0,798	0,998	0,975	0,744	0,843	1,000	0,886	0,731	0,308	0,188	0,629	0,367	0,540	0,758	0,785	0,220	0,019	0,046	0,031	0,143	0,040
Kotor	0,987	0,798	0,997	0,974	0,897	0,973	0,760	0,987	0,306	0,175	0,313	0,161	0,540	1,000	0,468	0,881	0,075	0,180	0,100	0,095	0,333	0,101
Mojkovac	0,990	0,795	0,998	0,977	0,900	0,938	0,858	0,841	0,435	0,355	0,688	0,169	0,322	0,846	0,596	0,841	0,115	0,010	0,043	0,016	0,125	0,019
Niškić	0,987	0,798	0,998	0,977	0,810	0,973	0,794	0,656	0,267	0,052	0,725	0,546	0,209	0,159	0,301	0,982	0,089	1,000	0,300	0,308	1,000	0,350
Plav	0,982	0,801	0,995	0,960	0,865	0,952	0,706	1,000	0,362	0,106	0,725	0,305	0,151	0,621	0,501	0,735	0,075	0,090	0,600	0,080	0,667	0,075
Pijevlja	0,974	0,806	0,991	0,944	0,983	0,986	0,665	0,825	0,331	0,016	0,538	0,314	0,317	0,242	0,525	0,765	0,013	0,286	1,000	0,364	0,667	0,483
Plužine	0,992	0,790	0,998	0,989	0,894	0,948	0,790	0,904	0,644	0,633	0,438	0,515	0,215	0,111	0,779	0,892	0,423	0,004	0,015	0,004	0,043	0,004
Podgorica	1,000	0,787	1,000	1,000	0,867	0,953	0,640	0,779	0,324	0,153	0,413	0,441	0,291	0,536	0,336	1,000	0,174	0,113	0,300	0,110	1,000	0,127
Rožaje	0,982	0,809	0,993	0,942	1,000	0,986	0,757	0,903	0,230	0,012	0,725	0,271	0,000	0,800	0,424	0,848	0,013	0,667	1,000	1,000	0,667	1,000
Savnik	0,987	0,790	0,997	0,984	0,856	0,862	0,978	0,786	0,836	1,000	0,313	1,000	0,330	0,000	0,852	0,768	1,000	0,042	0,600	0,049	0,667	0,067
Tivat	0,985	0,795	0,997	0,977	0,826	0,977	0,830	0,797	0,629	0,374	0,375	0,516	0,392	0,477	0,532	0,890	0,256	0,038	0,150	0,038	0,500	0,048
Ulcinj	0,980	0,806	0,993	0,951	0,717	0,957	0,658	0,805	0,376	0,031	0,225	0,382	0,000	0,698	0,574	0,856	0,026	0,186	0,150	0,205	0,500	0,241
Žabljak																						

Slika E1. Podaci za MLDEA

Tabela E1. Validacija izabranih indikatora: -z vrednost

	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	Brzina	Alkohol	Pojas	Telefon	Broj vozila / (1000 stan)	Brij vozila / km puta	Sezonalnost	Gustina mreže km/1000km2	% magistralnih puteva	% regionalnih puteva	Indeks razvijenosti opštine	% mladih	Gustina naseljenosti	Samo sa mat. štetom	Sa poginulima	Sa povredenima	Povredeni	Poginuli
Andrijevica	1,558	0,881	0,616	1,516	1,480	1,699	1,358	0,459	0,842	0,741	2,107	0,725	0,850	0,746	0,697	1,466	0,505	2,641	1,064	2,846	0,675	2,622	0,675	2,622	0,675	2,622
Bar	0,435	0,135	0,118	0,568	0,330	0,434	0,691	0,986	0,901	1,028	1,142	0,571	0,920	1,097	0,601	0,265	0,240	0,591	0,698	0,537	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,578
Berane	0,990	0,482	0,206	0,238	0,380	0,327	0,092	0,763	0,763	0,556	1,099	0,733	0,798	0,841	0,145	0,624	0,258	0,178	0,614	0,330	0,589	0,323	0,589	0,323	0,589	0,323
Bijelo Polje	0,775	0,788	0,164	0,502	0,622	0,561	0,314	0,472	0,658	0,319	0,357	0,831	0,573	0,731	0,470	0,351	0,549	0,466	0,567	0,471	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,504
Budva	2,345	1,074	1,361	1,668	1,505	1,368	1,623	1,644	2,460	1,892	1,478	0,892	0,485	0,880	1,419	3,121	1,371	0,576	0,649	0,505	0,873	0,538	0,873	0,538	0,873	0,538
Cetinje	0,121	0,840	0,616	0,365	0,408	0,239	0,395	0,517	0,392	0,638	0,470	2,008	1,107	0,604	0,211	0,742	0,592	0,373	0,649	0,421	0,707	0,423	0,707	0,423	0,707	0,423
Danilovgrad	0,247	1,416	0,348	0,137	0,446	0,161	0,243	1,245	0,253	0,020	1,099	1,324	0,336	0,819	1,103	0,168	0,479	0,359	0,649	0,432	0,707	0,480	0,432	0,707	0,480	0,480
Herceg Novi	0,937	1,909	0,980	0,204	0,257	0,028	0,607	2,032	0,811	1,730	1,254	0,933	0,661	0,164	0,078	0,460	1,371	0,582	0,086	0,476	1,780	0,478	1,780	0,478	1,780	0,478
Kolašin	0,458	0,459	0,743	0,659	0,475	0,427	0,762	0,958	0,680	0,894	0,582	0,214	0,675	0,820	0,054	0,032	0,612	0,441	0,649	0,421	0,707	0,453	0,707	0,453	0,707	0,453
Kotor	1,058	0,813	0,076	0,081	0,154	0,143	0,448	1,380	1,189	0,001	1,142	1,860	2,197	0,312	1,110	0,204	0,489	0,580	0,743	0,491	1,063	0,511	1,063	0,511	1,063	0,511
Mojkovac	0,479	0,321	0,545	0,170	0,175	0,229	0,231	0,208	0,825	0,424	0,357	0,797	0,201	1,515	1,287	1,004	2,072	0,053	0,567	0,269	0,431	0,295	0,431	0,295	0,431	0,295
Niškić	0,199	0,149	0,376	0,214	0,482	0,391	0,302	0,246	0,215	0,152	0,875	0,053	0,779	0,222	1,246	0,002	1,542	0,612	0,754	0,543	1,122	0,585	1,122	0,585	1,122	0,585
Plav	1,369	1,529	0,489	0,224	0,198	0,480	0,285	0,706	1,005	0,821	1,099	0,794	0,138	2,423	0,686	0,522	0,825	2,641	0,086	0,462	1,780	0,577	1,780	0,577	1,780	0,577
Pijevlja	0,307	1,406	0,545	0,772	1,003	0,826	0,495	0,125	0,559	0,646	1,099	0,355	0,741	1,674	0,547	0,789	0,769	0,347	1,064	0,322	0,675	0,387	0,675	0,387	0,675	0,387
Plužine	0,178	1,044	0,814	1,691	1,797	1,811	1,650	1,087	0,707	0,938	0,315	1,073	1,145	0,412	0,503	0,027	0,539	0,295	2,370	0,655	0,675	1,042	0,655	0,675	1,042	1,042
Podgorica	1,172	0,453	0,952	1,103	1,098	1,078	0,959	0,173	0,776	1,048	0,091	0,271	0,098	0,529	0,524	0,496	0,988	0,632	0,844	0,585	1,395	0,635	1,395	0,635	1,395	0,635
Rožaje	1,184	1,737	0,122	1,837	2,114	1,981	1,495	0,097	0,737	0,495	0,133	0,386	1,401	0,961	0,147	0,144	0,475	0,273	0,086	0,220	1,780	0,204	1,780	0,204	1,780	0,204
Šavnik	0,715	0,067	0,814	1,703	1,269	1,668	2,170	1,275	1,183	0,948	1,099	1,037	0,234	0,500	0,723	1,487	1,383	1,546	2,370	2,846	0,675	2,856	2,846	0,675	2,856	2,856
Tivat	1,561	1,016	3,438	0,906	0,722	0,584	0,899	0,212	1,682	2,226	0,694	1,465	1,973	0,881	3,006	0,032	1,371	0,507	1,064	0,427	0,675	0,417	0,427	0,675	0,417	0,417
Ulcinj	0,143	0,434	0,231	0,308	0,137	0,255	0,376	0,539	0,706	0,212	0,357	0,868	0,499	0,752	0,532	0,317	0,272	0,520	0,404	0,467	0,122	0,481	0,467	0,122	0,481	0,481
Žabljak	0,080	0,035	0,757	1,293	1,365	1,293	1,250	1,655	0,490	0,888	0,918	0,469	1,215	0,644	0,157	1,487	1,034	0,032	0,404	0,109	0,122	0,196	0,109	0,122	0,196	0,196

Tabela E2. Validacija izabranih indikatora: Mahalanobisova distanca

	Posledice	Ssaobraćajne nezgode	Okruženje	Put	Vozilo	Ponašanje	Percepcija
Andrijevica	1,36	1,70	1,48	1,52	0,62	0,88	1,56
Bar	0,69	0,43	0,33	0,57	0,12	0,14	0,44
Berane	0,09	0,33	0,38	0,24	0,21	0,48	0,99
Bijelo Polje	0,31	0,56	0,62	0,50	0,16	0,79	0,78
Budva	1,62	1,37	1,51	1,67	1,36	1,07	2,35
Cetinje	0,40	0,24	0,41	0,37	0,62	0,84	0,12
Danilovgrad	0,24	0,16	0,45	0,14	0,35	1,42	0,25
Herceg Novi	0,61	0,03	0,26	0,20	0,98	1,91	0,94
Kolašin	0,76	0,43	0,48	0,66	0,74	0,46	0,46
Kotor	0,45	0,14	0,15	0,08	0,08	0,81	1,06
Mojkovac	0,23	0,23	0,18	0,17	0,55	0,32	0,48
Nikšić	0,30	0,39	0,48	0,21	0,38	0,15	0,20
Plav	0,29	0,48	0,20	0,22	0,49	1,53	1,37
Pljevlja	0,50	0,83	1,00	0,77	0,55	1,41	0,31
Plužine	1,65	1,81	1,80	1,69	0,81	1,04	0,18
Podgorica	0,96	1,08	1,10	1,10	0,95	0,45	1,17
Rožaje	1,50	1,98	2,11	1,84	0,12	1,74	1,18
Šavnik	2,17	1,67	1,27	1,70	0,81	0,07	0,72
Tivat	0,90	0,58	0,72	0,91	3,44	1,02	1,56
Ulcinj	0,38	0,26	0,14	0,31	0,23	0,43	0,14
Žabljak	1,25	1,29	1,37	1,29	0,76	0,04	0,08

Prilog F

Tabela F1. Ponderi – ulazne veličine

	Infrastruktura	Okruženje	Gustina naseljenosti	% mladih	Indeks razvijenosti opštine	Put	% regionalnih puteva	% magistralnih puteva	Gustina mreže km/1000km ²	Vozilo	Sezonalnost	Brij vozila / km puta	Broj vozila /1000 stan)	Čovek	Ponašanje	Telefon	Pojas	Alkohol	Brzina	Percepcija	Telefon	Pojas	Alkohol	Brzina	
Andrijevica	0,088	0,914	0,011	0,083	0,906	0,086	0,219	0,684	0,097	0,013	0,528	0,001	0,471	1,045	0,975	0,001	0,001	0,015	0,983	0,025	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Bar	3,380	0,001	0,001	0,675	0,324	0,999	0,001	0,001	0,998	0,001	0,998	0,001	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001	0,997	0,003	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Berane	1,890	0,001	0,001	0,998	0,001	0,999	0,046	0,467	0,487	0,001	0,998	0,001	0,001	0,445	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bijelo Polje	2,435	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,255	0,001	0,744	1,108	0,341	0,658	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Budva	0,001	0,999	0,001	0,998	0,001	0,001	0,998	0,001	0,001	7,884	0,998	0,001	0,001	0,999	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001
Cetinje	4,189	0,001	0,998	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	1,113	0,998	0,001	0,001	0,476	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Danilovgrad	5,053	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,001	0,001	0,998	0,001	0,998	0,001	0,001	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Herceg Novi	0,023	0,029	0,001	0,998	0,001	0,971	0,019	0,008	0,973	0,569	0,998	0,001	0,001	0,915	0,997	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Kolašin	6,063	0,998	0,001	0,001	0,001	0,107	0,998	0,001	0,001	2,399	0,998	0,001	0,001	0,999	0,999	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Kotor	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	0,001	0,001	5,243	0,978	0,021	0,001	0,001	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mojkovac	6,250	0,001	0,998	0,001	0,001	0,977	0,001	0,001	0,998	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,999	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Nišić	5,935	0,001	0,998	0,001	0,001	0,978	0,001	0,001	0,998	0,001	0,647	0,202	0,150	0,001	0,016	0,997	0,001	0,001	0,984	0,984	0,004	0,984	0,001	0,001	0,001
Plav	0,101	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,001	0,991	0,008	0,050	0,985	0,002	0,013	0,970	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Pljevlja	2,929	0,441	0,558	0,621	0,999	0,379	0,001	0,059	0,940	0,034	0,998	0,001	0,001	0,999	0,999	0,001	0,997	0,001	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Plužine	1,261	0,998	0,001	0,998	0,001	0,211	0,004	0,953	0,043	0,192	0,998	0,001	0,001	0,154	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Podgorica	0,023	0,998	0,001	0,998	0,001	0,999	0,001	0,998	0,001	0,001	0,998	0,001	0,001	1,003	0,001	0,001	0,783	0,215	0,999	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001
Rožaje	0,484	0,998	0,001	0,998	0,001	0,999	0,001	0,998	0,001	0,060	0,988	0,011	0,886	0,886	0,997	0,001	0,001	0,958	0,040	0,003	0,997	0,001	0,001	0,001	0,001
Šavnik	0,265	0,998	0,001	0,998	0,001	0,999	0,001	0,998	0,001	0,129	0,995	0,004	0,001	0,920	0,998	0,001	0,003	0,995	0,003	0,002	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001
Tivat	0,721	0,998	0,001	0,998	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,998	0,998	0,001	0,001	1,157	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ulcinj	0,001	0,998	0,001	0,998	0,001	0,001	0,001	0,179	0,820	0,161	0,578	0,421	0,961	0,961	0,001	0,997	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Žabljak	2,493	0,001	0,998	0,001	0,972	0,001	0,998	0,001	0,001	4,421	0,998	0,001	0,001	0,999	0,999	0,001	0,001	0,997	0,001	0,999	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Prosek	2,075	0,580	0,360	0,349	0,651	0,651	0,216	0,350	0,434	1,113	0,763	0,206	0,031	0,426	0,713	0,238	0,155	0,511	0,095	0,287	0,191	0,287	0,095	0,511	0,287

Tabela F3. Ponderi – izlazne veličine

Opština	Samo sa mat. štetom	Pa poginulima	Sa povrđenima	SN	Poginuli	Povređeni	Posljedice
Andrijevića	0,323	0,001	0,676	0,595	0,945	0,055	0,595
Bar	0,985	0,014	0,001	0,035	0,999	0,001	1,343
Berane	0,001	0,001	0,998	0,001	0,999	0,001	1,136
Bijelo Polje	0,001	0,001	0,998	0,001	0,999	0,001	1,402
Budva	0,903	0,096	0,001	4,286	0,327	0,673	3,045
Cetinje	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,001	1,647
Danilovgrad	0,998	0,001	0,001	0,053	0,999	0,001	2,007
Herceg Novi	0,988	0,011	0,001	0,331	0,999	0,001	0,994
Kolašin	0,998	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	2,285
Kotor	0,001	0,001	0,998	0,001	0,194	0,806	3,979
Mojkovac	0,998	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	2,487
Nikšić	0,998	0,001	0,001	0,001	0,999	0,001	2,362
Plav	0,998	0,001	0,001	0,501	0,999	0,001	0,501
Pljevlja	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,001	1,465
Plužine	0,001	0,998	0,001	0,334	0,999	0,001	1,001
Podgorica	0,001	0,998	0,001	0,402	0,999	0,001	0,875
Rožaje	0,001	0,998	0,001	0,303	0,999	0,001	0,910
Šavnik	0,841	0,158	0,001	0,326	0,648	0,352	0,977
Tivat	0,001	0,998	0,001	0,791	0,999	0,001	0,791
Ulcinj	0,001	0,998	0,001	0,001	0,999	0,001	1,011
Žabljak	0,998	0,001	0,001	0,629	0,999	0,001	1,767
Prosek	0,478	0,346	0,176	0,409	0,909	0,091	1,551

Tabela F4. Cooper ponderi (izlazne) za efikasne

Opština	Samo sa mat. štetom	Sa poginulima	Sa povrđenima	SN	Poginuli	Povređeni	Posljedice
Andrijevića	0,002	0,230	0,769	0,915	0,998	0,002	0,254
Herceg Novi	0,002	0,230	0,769	0,915	0,998	0,002	0,254
Plav	0,002	0,230	0,769	0,915	0,998	0,002	0,254
Plužine	0,002	0,230	0,769	0,915	0,998	0,002	0,254
Rožaje	0,005	0,231	0,764	0,916	0,995	0,005	0,254
Šavnik	0,001	0,213	0,786	0,908	0,996	0,004	0,253
Tivat	0,001	0,998	0,001	0,788	0,999	0,001	0,793
Žabljak	0,998	0,001	0,001	0,629	0,999	0,001	1,767
Prosek ef. sa Cooper	0,127	0,295	0,579	0,863	0,998	0,002	0,510
Prosek ef. bez Cooper	0,519	0,396	0,085	0,476	0,948	0,052	0,942
Prosek svih sa Cooper	0,329	0,308	0,363	0,566	0,928	0,072	1,387
Prosek svih bez Cooper	0,478	0,346	0,176	0,409	0,909	0,091	1,551

F6. Matrica apsolutnih vrednosti

ABS	Andrijevica	0,000	0,007	0,407	0,149	0,152	0,397	0,006	0,000	0,485	0,324	0,023	0,000	0,041	0,000	0,175	0,000	0,000	0,187	0,345	0,720
	Bar	0,951	0,781	0,846	0,843	0,809	0,839	0,781	0,950	0,816	0,816	0,780	0,780	0,819	0,950	0,853	0,950	0,951	0,903	0,852	0,839
	Berane	0,823	0,765	0,707	0,735	0,832	0,770	0,765	0,824	0,788	0,879	0,763	0,763	0,824	0,824	0,747	0,824	0,823	0,800	0,746	0,865
	Bijelo Polje	0,779	0,606	0,637	0,553	0,745	0,652	0,606	0,778	0,594	0,775	0,602	0,602	0,778	0,778	0,698	0,778	0,780	0,766	0,687	0,709
	Budva	0,917	0,915	0,922	0,889	0,638	0,903	0,915	0,915	0,878	0,668	0,914	0,914	0,915	0,882	0,835	0,915	0,917	0,821	0,839	0,907
	Cetinje	0,895	0,756	0,719	0,741	0,718	0,604	0,756	0,894	0,623	0,768	0,752	0,752	0,894	0,783	0,783	0,894	0,894	0,846	0,771	0,746
	Danilovgrad	0,871	0,511	0,717	0,682	0,893	0,791	0,511	0,871	0,801	0,926	0,508	0,508	0,704	0,785	0,785	0,872	0,871	0,841	0,786	0,901
	Herceg Novi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,324	0,000	0,000	0,166	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Kolašin	0,819	0,790	0,776	0,686	0,736	0,552	0,790	0,817	0,442	0,763	0,786	0,786	0,817	0,785	0,785	0,817	0,819	0,822	0,767	0,789
	Kotor	0,962	0,940	0,918	0,921	0,803	0,869	0,940	0,961	0,861	0,778	0,939	0,939	0,961	0,895	0,895	0,961	0,961	0,926	0,889	0,875
	Mojkovac	0,924	0,181	0,700	0,620	0,492	0,529	0,181	0,923	0,597	0,655	0,177	0,177	0,923	0,699	0,699	0,922	0,923	0,846	0,684	0,764
	Niškić	1,000	0,732	0,887	0,903	0,980	0,902	0,732	1,000	0,925	0,976	0,729	0,729	1,000	0,913	0,913	1,000	1,000	0,959	0,915	0,971
	Plav	0,000	0,263	0,000	0,000	0,000	0,000	0,263	0,000	0,018	0,502	0,266	0,266	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,177	0,000	0,367
	Pljevlja	0,671	0,137	0,159	0,287	0,768	0,314	0,137	0,672	0,416	0,814	0,122	0,122	0,024	0,672	0,175	0,672	0,680	0,368	0,338	0,676
	Plužine	0,000	0,154	0,276	0,000	0,256	0,027	0,154	0,000	0,000	0,258	0,141	0,141	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,309	0,586
	Podgorica	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	0,998	0,998	1,000	1,000	1,000
	Rožaje	0,587	0,102	0,000	0,000	0,451	0,000	0,102	0,584	0,000	0,456	0,089	0,089	0,000	0,015	0,015	0,585	0,589	0,321	0,000	0,286
	Šavnik	0,000	0,000	0,000	0,273	0,000	0,182	0,000	0,000	0,356	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,241	0,320	0,517
	Tivat	0,000	0,759	0,550	0,674	0,523	0,799	0,759	0,000	0,775	0,588	0,760	0,760	0,667	0,182	0,182	0,000	0,000	0,000	0,369	0,482
	Ulcinj	0,826	0,636	0,589	0,597	0,744	0,595	0,636	0,825	0,577	0,740	0,631	0,631	0,825	0,548	0,548	0,825	0,827	0,677	0,516	0,676
	Žabljak	0,660	0,492	0,338	0,448	0,000	0,000	0,492	0,657	0,000	0,000	0,484	0,484	0,657	0,356	0,356	0,657	0,657	0,707	0,481	0,000

Prilog G.

Tabela G1. Rangovi prema konačnim ishodima i iDEA indeksu

	SN1	SN2	PP1	PP2	JR1	JR2	JR3	SR1	SR2	SR3
Andrijevića	1	3	2	6	2	10	1	16	1	2
Bar	19	18	19	18	15	14	16	7	14	11
Berane	8	13	8	13	3	12	3	12	4	3
Bijelo Polje	13	12	16	12	6	7	7	6	8	6
Budva	17	16	18	17	21	15	20	10	10	14
Cetinje	10	15	11	16	10	17	11	14	12	7
Danilovgrad	11	14	15	14	8	16	14	15	18	8
Kolašin	16	6	13	1	14	4	9	1	3	12
Kotor	12	13	12	15	20	20	21	19	21	21
Mojkovac	18	19	17	19	19	18	15	13	9	15
Nikšić	6	11	7	11	9	19	17	17	20	17
Plav	20	20	20	20	12	9	10	9	13	18
Pljevlja	3	7	4	2	1	8	2	11	2	1
Plužine	9	2	9	5	4	3	5	4	6	4
Podgorica	4	4	3	7	11	2	8	18	16	19
Rožaje	21	21	21	21	17	13	18	8	15	13
Šavnik	7	8	6	3	5	6	4	3	5	5
Tivat	2	1	1	4	7	1	6	21	17	16
Ulcinj	14	5	10	8	18	5	13	2	7	9
Žabljak	15	10	14	10	13	11	12	5	11	10

BIOGRAFIJA AUTORA

Mirjana Grdinić, udata Rakonjac, mast. inž. saobr. je rođena 21. 4. 1988. godine u Bijelom Polju u Crnoj Gori. Osnovnu školu i Gimnaziju završila je u Bijelom Polju. Nakon završetka srednje škole, 2006. godine upisala je Osnovne akademske studije prvog stepena na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu na modulu Drumski i gradski saobraćaj i transport – bezbednost saobraćaja. Sa odbranjenim završnim radom pod nazivom „Analiza bezbednosti saobraćaja u beogradskoj opštini Lazarevac za period od 2006. do 2009. godine“ diplomirala je 2010. godine i stekla akademski naziv diplomirani inženjer saobraćaja. Iste godine upisuje Master akademske studije drugog stepena, takođe na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, na modulu Bezbednost drumskog saobraćaja. Master akademske studije je završila 2012. godine odbranivši master rad pod nazivom „Istraživanje uticaja kritičnih manevara upravljačem na bočnu stabilnost teretnih vozila u programu ARCSIM“ i time stekla akademski naziv master inženjer saobraćaja. Doktorske studije na Saobraćajnom fakultetu je upisala školeske 2014/15 godine.

Od januara 2013. godine je preko programa „Stručno osposobljavanje lica sa stečenim visokim obrazovanjem“, koji realizuje Vlada Crne Gore, angažovana na Mašinskom fakultetu u Podgorici. U zvanje saradnika u nastavi Univerziteta Crne Gore, na Mašinskom fakultetu u Podgorici je izabrana 2015. godine na Katedri za Drumski saobraćaj. Angažovana je u nastavi na vežbama na osnovnim, specijalističkim i master akademskim studijama. Saradnik je u istraživanjima na naučno-istraživačkim projektima odseka za drumski saobraćaj, član Centra za saobraćajno-mašinska veštačenja kao i Centra za motore i vozila.

Mirjana Grdinić-Rakonjac, mast. inž. saobr. je učestvovala na brojnim međunarodnim i domaćim konferencijama i seminarima. Kao autor ili koautor je objavila 26 stručno-naučnih radova objavljenih u zbornicima radova i časopisima od kojih su četiri objavljena u međunarodnim časopisima sa SCI liste u kategoriji M20.

Od 2015. godine recenzirala je i radove objavljene na međunarodnim konferencijama i međunarodnim časopisima (Promet, Traffic Injuri Prevention, IEEE Acces). Od 2021. godine član je *Editorial Advisory Boarda* međunarodnog časopisa *International Journal of Grai Sistems (IJGS)* (ISSN 2767-6412, 2767-3308) koji se bavi primenom teorijom sivih sistema i modela za анализу несигурности. Takođe je član *Editorial Advisory Boarda* i u časopisu *Management Science and Business Decisions* (ISSN 2767-6528, 2767-3316) koji se bavi primenom novih modela višekriterijumskog odlučivanja, a u cilju objektivnog rešavanja zadataka.

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora **Mirjana Grdinić-Rakonjac**

Broj indeksa **DS14D016**

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

„Razvoj novog modela „IDEA“ za ocenu nivoa bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom, u uslovima sivih podataka“

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, _____

Potpis autora



Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora **Mirjana Grdinić-Rakonjac**

Broj Indeksa **DS14D016**

Studijski program **Saobraćaj**

Naslov rada **Razvoj novog modela „iDEA“ za ocenu nivoa bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom, u uslovima sivih podataka**

Mentor **prof. dr Boris Antić**

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala radi pohranjena u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktor nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____



Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Razvoj novog modela „iDEA“ za ocenu nivoa bezbednosti saobraćaja kompozitnim indeksom, u uslovima sivih podataka

Koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci.
Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

U Beogradu, _____

Potpis autora



1. **Autorstvo.** Dozvoljavajte umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavajte umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavajte umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promene, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavajte umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavajte umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promene, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavajte umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili daoca licence i ako se prerada distribuira pod istim ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.