

UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nevena R. Simić

**HIBRIDNI SISTEM ZA PROCENU
TROŠKOVA IZGRADNJE AUTO-PUTEVA
U POČETNIM FAZAMA RAZVOJA
PROJEKTA**

doktorska disertacija

Beograd, 2023

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Nevena R. Simić

**HYBRID SYSTEM FOR HIGHWAY
CONSTRUCTION COST ESTIMATION IN
INITIAL STAGES OF PROJECT
DEVELOPMENT**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2023

Mentor:

Prof. dr Nenad Ivanišević, dipl. inž. građ., dipl. pravnik
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Članovi komisije:

Prof. dr Nenad Ivanišević, dipl. inž. građ., dipl. pravnik
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Prof. dr Miloš Knežević, dipl. inž. građ.
Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet

V. prof. dr Goran Mladenović, dipl. inž. građ.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

V. prof. dr Dejan Marinković, dipl. inž. građ.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Doc. dr Đorđe Nedeljković, dipl. inž. građ.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Datum odbrane: _____

Izjava zahvalnosti

Pre svega, želela bih da izrazim duboku zahvalnost svom mentoru, prof. dr Nenadu Ivaniševiću, na velikoj pomoći tokom izrade doktorske disertacije. Njegovi saveti i podrška, naročito u najtežim trenucima izrade disertacije, su mi bili od izuzetnog značaja.

Posebno sam zahvalna i kolegi doc. dr Đorđu Nedeljkoviću koji mi je pružao nesebičnu pomoć i korisne savete tokom celog istraživanja. Veliko hvala prof. dr Branislavu Ivkoviću koji se uvek trudio da mi pruži pomoć i podršku. Zahvalna sam i v. prof. dr Dejanu Marinkoviću za podršku i korisne sugestije tokom pripreme disertacije. Želela bih, takođe, da se zahvalim i prof. dr Milošu Kneževiću i v. prof. dr Goranu Mladenoviću, čiji vredni komentari su ovu doktorsku disertaciju obogatili i unapredili.

Izuzetno sam zahvalna preduzećima JP „Putevi Srbije“, „Koridori Srbije“ d.o.o., JP „Autoceste Federacije Bosne i Hercegovine“ d.o.o. i JP „Autoputevi Republike Srpske“ d.o.o. koji su pokazali veliko razumevanje za moje istraživanje i obezbedili mi neophodne podatke. Bez njihove pomoći, istraživanja u okviru disertacije ne bi bila izvodljiva.

Veoma sam zahvalna koleginicama Mariji Ivanović, Ani Nadaždi i Aleksandri Parezanović na pruženoj pomoći i podršci. Takođe, zahvaljujem se svim kolegama sa Katedre za upravljanje projektima u građevinarstvu Građevinskog fakulteta u Beogradu na podršci i razumevanju koje su mi pružili za vreme pisanja ove disertacije.

Želela bih da izrazim zahvalnost svojim najbližim prijateljima za njihovu podršku koja je proces pripreme disertacije učinila lakšim i zabavnijim.

Konačno, najdublju zahvalnost dugujem svojoj porodici, čija beskrajna ljubav, podrška i razumevanje su me uvek motivisali.

Nevena Simić

Skraćenice

AHP - Analytic Hierarchy Process

AI - Artificial Intelligence

ANN - Artificial Neural Networks

APE - Absolute Percentage Error

CART - Classification and Regression Trees

CBR - Case Based Reasoning

CPI - Corruption Perceptions Index

EBRD - European Bank for Reconstruction and Development

EIB - European Investment Bank

EU - European Union

EUR - Euro

FIDIC - Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils

GDP - Gross Domestic Product

GIS - Geographic Information System

ICB - International Competitive Bidding

ITF - International Transport Forum

LOOCV - Leave-One-Out Cross-Validation

MAE - Mean Absolute Error

MAPE - Mean Absolute Percentage Error

ML - Machine Learning

MMRE - Mean Magnitude of Relative Error

MPE - Mean Percentage Error

MRA - Multiple Regression Analysis

MRE – Magnitude of Relative Error

MSE – Mean Squared Error

NATM – New Austrian Tunneling Method

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development

PE – Percentage Error

PMBOK – Project Management Body of Knowledge

PMI – Project Management Institut

RF – Random Forest

RICS – Royal Intitution of Chartered Surveyors

RMSE – Root Mean Squared Error

SVM – Support Vector Machine

XGBoost – eXtreme Gradient Boosting

WB – World Bank

WBS – Work Breakdown Structure

HIBRIDNI SISTEM ZA PROCENU TROŠKOVA IZGRADNJE AUTO-PUTEVA U POČETNIM FAZAMA RAZVOJA PROJEKTA

Sažetak

Razvoj i proširenje mreže auto-puteva spada u red ključnih faktora koji omogućavaju brži ekonomski napredak u nerazvijenim i zemljama u razvoju. Donosioci odluka o velikim kapitalnim projektima, kada razmišljaju da li uopšte ući u izgradnju novog projekta auto-puta, svoje odluke prevashodno baziraju na inicijalnim procenama troškova izgradnje i očekivanim koristima od te izgradnje. Međutim, baš u početnim fazama investicionog projekta, prilikom izrade inicijalnih procena troškova, investitori i potencijalni izvođači radova nailaze na brojne izazove. Najveći izazov su vrlo oskudne informacije o karakteristikama budućeg auto-puta i nedostupnost ili mali broj podataka o troškovima prethodno realizovanih projekata, a na osnovu kojih bi se doneli zaključci o očekivanim troškovima realizacije budućih projekata.

Dosadašnja istraživanja iz oblasti procene troškova projekata izgradnje auto-puteva su najviše pažnje posvetila dostizanju što veće tačnosti procene troškova, ne uzimajući u obzir potreban nivo napora (vremena i novca) koji je potrebno uložiti za njihovo određivanje. Za procene troškova u početnim fazama razvoja projekta su od suštinskog značaja definisanje i postizanje zadovoljavajućeg nivoa tačnosti procene uz što manji nivo napora koji je potrebno uložiti za njihovo određivanje. Dodatno, većina istraživanja koja se bave određivanjem ključnih troškovno uticajnih parametara, a na kojima se zasniva procena troškova u ranim fazama projekta, bazirana su na prikupljanju percepcija eksperata iz njihovih prethodnih iskustava. Ovakve studije najčešće razmatraju procenu troškova izgradnje samo iz perspektive investitora, dok se sa aspekta izvođača daleko manje razmatraju.

Osnovni cilj ove disertacije jeste predlog sistema podrške odlučivanju koji će investitorima i potencijalnim izvođačima radova pružiti zadovoljavajuću tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta, i to za kratko vreme i uz relativno niske troškove. Kako bi se ostvario postavljeni cilj, u prvoj fazi istraživanja je prikupljena dokumentacija sa 68 projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica sa teritorija Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije i Crne Gore, na osnovu koje je formirana originalna baza istorijskih podataka. Takođe, formirane su i tri prateće baze podataka za tri grupe troškovno značajnih objekata (mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice) koje su poslužile za identifikaciju troškovno uticajnih parametara.

U drugoj fazi istraživanja je predložen pristup za određivanje ključnih troškovnih parametara koji se zasniva na anketnom upitniku koji je formiran na osnovu prethodno kreirane Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara. Cilj ankete je bio da se utvrde percepcije investitora i izvođača radova o nivou uticaja parametara iz liste na troškove izgradnje auto-puteva i nivou napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednosti troškovnih

parametara utvrdile za određeni projekat. Na osnovu predloženog pristupa je izvršeno rangiranje troškovnih parametara i upoređene su percepcije investitora i izvođača radova u vezi sa ključnim parametrima. Rezultati ankete su ukazali na veću zabrinutost investitora u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine, ali i da su izvođači radova više zabrinuti zbog mogućih promena cena resursa (naročito nakon nedavnih velikih povećanja cena izazvanih pandemijom virusa COVID-19 i oružanim sukobom Rusije i Ukrajine). Poređenjem rangiranja parametara u skladu sa perspektivama investitora i izvođača radova je zaključeno da se percepcije investitora i izvođača u vezi sa ključnim troškovnim parametrima razlikuju. Kroz istraživanje je konstatovano da je sa stanovišta investitora, sledećih 5 troškovno uticajnih parametara ključno za procenu troškova: *Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice, Postojanje velikih značajnih objekata, Postojanje klizne skale, Vrsta tenderskog postupka i Broj tunelskih cevi*. S druge strane, sa stanovišta izvođača 5 najuticajnih parametara su: *Postojanje klizne skale, Učešće tunela u dužini deonice, Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice, Prosečna bruto zarada u građevinarstvu i Postojanje velikih značajnih objekata*. Iz prethodnog se vidi da su među 5 prvorangiranih parametara, 3 ista za obe perspektive. Kada se razmatraju 10 prvorangiranih parametara, samo 5 je istih za obe perspektive.

U trećoj fazi je predložen veći broj modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva, gde su razvoj i validacija modela izvršeni na osnovu rezultata prethodnih faza istraživanja – formirane baze istorijskih podataka i rangiranja troškovnih parametara. Formirane su tri grupe modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva u zavisnosti od primenjene metode: (1) višestruka regresiona analiza (MRA); (2) veštačke neuronske mreže (ANN); (3) ekstremno gradijentno pojačavanje (XGBoost). Modeli su formirani postepenim uključivanjem troškovnih parametara (jedan po jedan) u skladu sa rangiranjima parametara prema perspektivama investitora, odnosno izvođača radova. Tačnosti predviđanja koje su postignute pomoću sve tri grupe modela (MRA, ANN i XGBoost) su u saglasnosti sa, u literaturi preporučenim, zadovoljavajućim nivoima tačnosti. Rezultati su pokazali da se zadovoljavajuća tačnost procene troškova sa greškom MAPE=25-30% može postići sa malim uložnim naporom, i to sa samo 3 do 5 ključnih ulaznih parametara. Dodatno uključivanje troškovnih parametara u modele ne doprinosi nužno i povećanju tačnosti.

Ključne reči: donošenje odluka, procena troškova, troškovni parametri, rane faze projekta, projekti auto-puteva, mašinsko učenje, ekstremno gradijentno pojačavanje (XGBoost), veštačke neuronske mreže (ANN), višestruka regresiona analiza (MRA)

Naučna oblast: Građevinarstvo

Uža naučna oblast: Menadžment, tehnologije i upravljanje projektima u građevinarstvu

HYBRID SYSTEM FOR HIGHWAY CONSTRUCTION COST ESTIMATION IN INITIAL STAGES OF PROJECT DEVELOPMENT

Abstract

The development and expansion of the highway network is one of the key factors that enable faster economic growth in underdeveloped and developing countries. Decision makers for large capital projects, when considering whether to enter or not into construction of a new highway project, primarily base their decisions on initial construction cost estimates and expected benefits from that construction. However, in the initial stages of an investment project, owners and potential contractors encounter numerous challenges when making initial cost estimates. The biggest challenges are very scarce information on the characteristics of the future highway and the unavailability or small amount of data on the costs of previously implemented projects, based on which conclusions could be made about the expected costs of implementing future projects.

Previous research on cost estimation of highway construction projects have concentrated on achieving the highest possible accuracy of cost estimation without considering the required level of effort (time and money) that needs to be invested in their determination. For cost estimates in the initial stages of project development, defining and achieving a satisfactory level of accuracy with the least possible level of effort that needs to be invested in their determination is essential. Additionally, most of the research that deal with the determination of the key cost drivers (which are the basis for cost estimation in the early project stages), are developed through collection of experts' perceptions from their previous experiences. Such studies usually consider the construction cost estimation only from the owner's perspective, while the contractor's perspective is far less considered.

The main goal of this dissertation is to propose a decision support system that will provide owners and potential contractors with satisfactory highway construction cost estimation accuracy in the initial stages of project development, in a short time and with a relatively low cost. To achieve the set goal, in the first phase of the research, documentation from 68 highway and expressway construction projects from Serbia, Bosnia and Herzegovina, North Macedonia, and Montenegro was collected, based on which the original database of historical data was formed. Also, three accompanying databases for three groups of cost-significant structures (bridges, tunnels, and interchanges) were created and were used to identify cost drivers.

In the second phase of the research, an approach for the key cost drivers determination was proposed. The approach was based on a questionnaire survey that was formed on the basis of a previously created Preliminary cost drivers list. The goal of the survey was to determine the owners' and contractors' perceptions of the level of influence of the cost drivers from the list on highway construction costs and the level of effort that needs to be invested in order to determine the cost drivers' values for a certain project. Based on the proposed approach, the ranking of cost drivers was performed and the owners' and contractors' perceptions of

the key cost drivers were compared. The survey results indicated that owners are more concerned about environmental issues, while that contractors are more concerned about the possible changes in resource prices (especially after the recent high price increases caused by the COVID-19 pandemic and the Russia-Ukraine armed conflict). By comparing the cost drivers ranking according to the owners' and contractors' perspectives, it was concluded that the owners' and contractors' perceptions of key cost drivers are different. Through the research, it was determined that, from the owner's perspective, the following 5 cost drivers are crucial for cost estimation: *The participation of certain terrain type in the total length of the section, The presence of extreme structures within the route, The existence of contract price adjustments, Procurement method, and Number of tunnel tubes*. On the other hand, from the contractor's perspective, the 5 most significant cost drivers are: *The existence of contract price adjustments, The participation of the tunnels in the total length of the section, The participation of certain terrain type in the total length of the section, Average gross wages per employee in the construction industry, and The presence of extreme structures within the route*. As can be easily seen from the previous, among the 5 top-ranked cost drivers, 3 are the same for both perspectives. When the 10 top-ranked cost drivers are analyzed, only 5 are the same for both perspectives.

In the third phase, a larger number of highway construction cost estimation models were proposed, where the development and validation of the models was carried out based on the results of the previous research phases - the formed historical database and the cost drivers ranking. Three groups of highway construction cost estimation models were formed depending on the applied method: (1) Multiple Regression Analysis (MRA); (2) Artificial Neural Networks (ANN); (3) eXtreme Gradient Boosting (XGBoost). The models were formed by gradually adding cost drivers (one by one) following the cost drivers ranking according to the owners', and according to the contractors' perspectives. The prediction accuracies achieved by all three groups of models (MRA, ANN, and XGBoost) are in agreement with the satisfactory accuracy levels recommended in the literature. The results showed that a satisfactory cost estimation accuracy with an error of MAPE=25-30% can be achieved with low effort, and with only 3 to 5 key input cost drivers. Additional inclusion of cost drivers in the models does not necessarily contribute to an increase in accuracy.

Key words: decision-making, cost estimation, cost drivers, early project phases, highway projects, machine learning, eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), Artificial Neural Networks (ANN), Multiple Regression Analysis (MRA)

Scientific field: Civil Engineering

Scientific sub-field: Management, Technologies, and Project Management in Construction

Sadržaj

Skraćenice	v
Sažetak	vii
Abstract	ix
Lista grafičkih priloga	xiv
Lista tabela	xvi
1. Uvod	1
1.1 Uvod.....	1
1.2 Problem i predmet istraživanja.....	1
1.3 Istraživačke hipoteze i ciljevi	3
1.4 Struktura disertacije	4
2. Pregled literature	7
2.1 Uvod.....	7
2.2 Auto-putevi i njihov značaj.....	7
2.2.1 Značaj transportne infastrukture.....	7
2.2.2 Auto-putevi	8
2.3 Procene troškova.....	11
2.3.1 Pojam procene troškova.....	11
2.3.2 Vrste procena troškova	12
2.3.3 Tačnost procena troškova.....	15
2.4 Troškovno uticajni parametri putnih infrastrukturnih projekata.....	16
2.4.1 Pristupi za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara	17
2.4.2 Pregled analiziranih troškovno uticajnih parametara putnih infrastrukturnih projekata	22
2.4.3 Ograničenja postojećih pristupa	29
2.5 Pristupi za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata	31
2.5.1 Metode za razvoj modela za procenu troškova.....	31
2.5.2 Ocena performansi modela za procenu troškova	33
2.5.3 Pregled postojećih pristupa za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata.....	33
2.6 Zaključna razmatranja	41
3. Metodologija	42
3.1 Uvod.....	42
3.2 Primenjeni principi za izbor metodološkog pristupa.....	42
3.3 Izbor metodološkog pristupa.....	43
3.4 Predložena metodologija	44

4. Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva.....	46
4.1 Uvod.....	46
4.2 Baze podataka projekata izgradnje auto-puteva u Srbiji i okruženju.....	47
4.3 Procedura prikupljanja i sistematizacije podataka.....	48
4.4 Struktura baze podataka.....	50
4.4.1 Karakteristike projekata.....	51
4.4.2 Karakteristike okruženja projekata.....	59
4.4.3 Podaci o cenama.....	61
4.5 Pareto analiza podataka iz predmera i predračuna.....	64
5. Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara.....	69
5.1 Uvod.....	69
5.2 Metodologija određivanja ključnih troškovno uticajnih parametara.....	69
5.2.1 Formiranje Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara.....	70
5.2.1.1 Troškovno uticajni parametri identifikovani pregledom literature.....	70
5.2.1.2 Troškovno uticajni parametri identifikovani analizom prikupljenih podataka.....	73
5.2.1.3 Pilot studija.....	75
5.2.2 Određivanje percepcija investitora i izvođača.....	78
5.2.2.1 Formiranje nacrtu anketnog upitnika.....	78
5.2.2.2 Preliminarna kontrola forme anketnog upitnika.....	79
5.2.2.3 Organizacija i struktura konačne verzije upitnika.....	79
5.2.3 Analiza rezultata.....	80
5.2.3.1 Analiza pouzdanosti upitnika.....	80
5.2.3.2 Analiza saglasnosti percepcija ključnih učesnika na projektu.....	80
5.2.3.3 Percepcije ispitanika.....	81
5.2.4 Rangiranje troškovno uticajnih parametara.....	82
5.3 Rezultati i diskusija.....	84
5.3.1 Profil ispitanika.....	85
5.3.2 Analiza pouzdanosti upitnika.....	86
5.3.3 Analiza saglasnosti percepcija ključnih učesnika na projektu.....	87
5.3.4 Percepcije ispitanika.....	87
5.3.5 Rangiranje troškovno uticajnih parametara.....	90
6. Modeliranje procene troškova.....	96
6.1 Uvod.....	96
6.2 Metodologija za formiranje modela procene troškova.....	97
6.2.1 Priprema podataka (<i>Feature engineering</i>).....	97
6.2.1.1 Revalorizacija podataka.....	98

6.2.1.2	Enkodiranje kategoričkih podataka	100
6.2.1.3	Identifikacija ekstremnih odstupanja (outlier-a)	102
6.2.2	Metode za razvoj predikcionih modela	103
6.2.2.1	Višestruka regresiona analiza (MRA)	103
6.2.2.2	Veštačke neuronske mreže (ANN)	104
6.2.2.3	Ekstremno gradijentno pojačavanje (XGBoost)	107
6.2.3	Proces modeliranja	109
6.2.4	Ocena performansi, validacija i poređenje modela	111
6.3	Rezultati i diskusija	114
6.3.1	MRA modeli	114
6.3.2	ANN modeli	117
6.3.3	XGBoost modeli	120
6.3.4	Poređenje formiranih modela	124
7.	Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja	129
7.1	Doprinos istraživanja	132
7.2	Zaključci	133
7.3	Pravci daljih istraživanja	134
Prilog A	148
Biografija autora	160

Lista grafičkih priloga

Slika 1. Godišnji iznos investicionih ulaganja u izgradnju i održavanje putnih infrastrukturnih objekata izražen u milijardama EUR (OECD, 2022).....	9
Slika 2. Prikaz procesa u okviru upravljanja troškovima (modifikovano iz (PMI, 2017)).....	12
Slika 3. Prikaz procena troškova u odnosu na poznate informacije o projektu koristeći WBS (modifikovano iz (PMI, 2016)).....	14
Slika 4. Pristupi za procenu troškova (modifikovano iz (Hashemi i ostali, 2020)).....	14
Slika 5. Povezanost tačnosti procene troškova sa porastom obima informacija (PMI, 2016).....	15
Slika 6. Hronološki prikaz tačnosti procene troškova (Peško, 2013).....	16
Slika 7. Kvalitativne i kvantitativne procedure (Elmousalami, 2020).....	18
Slika 8. Veza između greške MAPE (%) i broja ulaznih parametara (Gardner i ostali, 2016).....	21
Slika 9. Najzastupljeniji troškovno uticajni parametri u analiziranim studijama.....	29
Slika 10. Preferencije za izbor ulaznih promenljivih (Gardner i ostali, 2016).....	30
Slika 11. Obim podataka u analiziranim studijama.....	32
Slika 12. Metode za razvoj modela u analiziranim studijama.....	32
Slika 13. Metode za ocenu performansi modela u analiziranim studijama.....	33
Slika 14. Metodologija za razvoj hibridnog sistema za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta organizovana u tri faze: FAZA 1 – Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva; FAZA 2 – Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara; FAZA 3 – Modeliranje procene troškova (Simić i ostali, 2023).....	45
Slika 15. Postojanje baza podataka u kompanijama ispitanika.....	47
Slika 16. Postojanje baza podataka u kompanijama investitora i izvođača.....	48
Slika 17. Procedura formiranja baze podataka.....	49
Slika 18. Ukupan broj ugovorenih projekata od 2004. do 2021. godine.....	50
Slika 19. Broj prikupljenih projekata po državama.....	51
Slika 20. Broj analiziranih projekata po godinama.....	53
Slika 21. Ukupne dužine deonica po projektima izražene u metrima.....	54
Slika 22. Broj analiziranih projekata u zavisnosti od dominantnog izvora finansiranja.....	55
Slika 23. Izvori finansiranja i postupak nabavke analiziranih projekata.....	57
Slika 24. Ugovorene cene analiziranih projekata.....	62
Slika 25. Broj projekata prema opsegu ukupnih ugovorenih cena (EUR).....	62
Slika 26. Jedinične cene analiziranih projekata (EUR/m ²).....	63
Slika 27. Pareto princip kod procene troškova (Ivković i ostali, 2021).....	64
Slika 28. Prikaz udela troškovno značajnih grupa radova u ukupnim troškovima.....	68

Slika 29. Metodologija za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara.	70
Slika 30. Likertova skala primenjena u drugom i trećem delu anketnog upitnika.	80
Slika 31. Izbor ključnih troškovnih parametara (modifikovano iz (Gardner i ostali, 2016).	84
Slika 32. Rezultati percepcija ispitanika – generalna perspektiva.	88
Slika 33. Rezultati percepcija ispitanika – perspektiva investitora.	88
Slika 34. Rezultati percepcija ispitanika – perspektiva izvođača.	89
Slika 35. Formiranje modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva.	97
Slika 36. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom opšte inflacije (%).	99
Slika 37. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom indeksa cena radne snage (prosečna bruto zarada u građevinarstvu) (%).	99
Slika 38. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom indeksa proizvođačkih cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu (%).	100
Slika 39. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom indeksa proizvođačkih cena za dizel goriva (tečna goriva i maziva) (%).	100
Slika 40. Struktura biološkog neurona (modifikovano iz (Maheshwari i ostali, 2022)).	104
Slika 41. Struktura veštačkog neurona.	105
Slika 42. Oblici aktivacionih funkcija (Peško, 2013).	106
Slika 43. Struktura XGBoost modela.	108
Slika 44. Procedura formiranja modela.	110
Slika 45. Šematski prikaz leave-one-out metode unakrsne validacije.	112
Slika 46. Rezultati MRA modela – generalna perspektiva.	116
Slika 47. Rezultati MRA modela – perspektiva investitora.	116
Slika 48. Rezultati MRA modela – perspektiva izvođača.	117
Slika 49. Rezultati ANN modela – generalna perspektiva.	119
Slika 50. Rezultati ANN modela – perspektiva investitora.	119
Slika 51. Rezultati ANN modela – perspektiva izvođača.	120
Slika 52. Rezultati XGBoost modela – generalna perspektiva.	122
Slika 53. Rezultati XGBoost modela – perspektiva investitora.	123
Slika 54. Rezultati XGBoost modela – perspektiva izvođača.	124
Slika 55. Rezultati modela – generalna perspektiva.	125
Slika 56. Rezultati modela – perspektiva investitora.	125
Slika 57. Rezultati modela – perspektiva izvođača.	126

Lista tabela

Tabela 1. Klasifikacija puteva prema uslovima terena (Katanić i ostali, 1983).....	10
Tabela 2. Pregled metoda za izbor ključnih troškovno uticajnih parametara u odabranim studijama.	19
Tabela 3. Kategorizacija troškovno uticajnih parametara u odabranim studijama.....	22
Tabela 4. Troškovno uticajni parametri analizirani u odabranim studijama.....	23
Tabela 5. Performanse modela za procenu troškova u odabranim studijama.....	40
Tabela 6. Karakteristike projekata sistematizovane iz projektne dokumentacije.....	52
Tabela 7. Broj analiziranih projekata i objekata.....	53
Tabela 8. Karakteristike projekata sistematizovane iz ugovorne dokumentacije.....	54
Tabela 9. Karakteristike projekata sadržane u bazi podataka o mostovima.....	57
Tabela 10. Karakteristike projekata sadržane u bazi podataka o tunelima.....	58
Tabela 11. Karakteristike projekata sadržane u bazi podataka o denivelisanim raskrsnicama.....	58
Tabela 12. Karakteristike okruženja projekata koje opisuju društveno-ekonomsko stanje u državi.	59
Tabela 13. Karakteristike okruženja projekata koje opisuju promene cena resursa i stanje građevinskog tržišta.....	61
Tabela 14. Ujednačena lista grupa radova.....	66
Tabela 15. Procentualna učešća grupa radova u odnosu na ukupne troškove projekta.....	67
Tabela 16. Lista relevantnih troškovno uticajnih parametara identifikovanih pregledom literature.	71
Tabela 17. Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara.....	77
Tabela 18. Profil ispitanika u anketnom upitniku.....	86
Tabela 19. Vrednosti Kronbahovog koeficijenta α	86
Tabela 20. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – generalna perspektiva.....	92
Tabela 21. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – perspektiva investitora.....	93
Tabela 22. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – perspektiva izvođača.....	94
Tabela 23. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – uporedni prikaz perspektiva investitora i izvođača.....	95
Tabela 24. Enkodiranje kategoričkih parametara.....	101
Tabela 25. Primer enkodiranja kategoričkog parametra koji definiše tip terena.....	102
Tabela 26. Performanse MRA modela.....	114
Tabela 27. Performanse ANN modela.....	118
Tabela 28. Performanse XGBoost modela.....	121

1. Uvod

1.1 Uvod

Cilj ovog poglavlja jeste da čitaocima predstavi obim i predmet istraživanja i pruži uvid u strukturu i sadržaj disertacije. Na početku je opisan problem istraživanja koji opravdava motivaciju za istraživanjem i generiše istraživačka pitanja. U nastavku poglavlja su predstavljeni ciljevi istraživanja i postavljene istraživačke hipoteze, a što je dovelo do predloženog metodološkog pristupa istraživanju. Na kraju poglavlja je prikazana struktura disertacije i dat pregled narednih poglavlja.

1.2 Problem i predmet istraživanja

Jednu od osnova funkcionisanja društva i privrede predstavlja transport robe i putnika. Putevi, kao najzastupljeniji vid transportne infrastrukture, jesu osnovna podloga za društveni i ekonomski razvoj. Prema modalnoj podeli za tri vrste transportne infrastrukture (drumska, železnička i unutrašnji plovni putevi), 77,4% ukupnog teretnog saobraćaja u Evropskoj uniji (u daljem tekstu EU) u 2020. godini je realizovano korišćenjem putne infrastrukture, za čime slede železnička infrastruktura i unutrašnjim plovni putevi (16,8% i 5,8% respektivno) (Eurostat, 2022a). Takođe, putna infrastruktura predstavlja najdominantniji vid transportne infrastrukture za putnički saobraćaj sa učešćem od preko 90% u 2018. godini (Eurostat, 2020). Iako putevi igraju vitalnu ulogu u društvenom i ekonomskom razvoju (Weiss i ostali, 2018), ne sme se zanemariti činjenica da istovremeno imaju veliki uticaj na životnu sredinu (Creutzig i ostali, 2015; Shannon i ostali, 2014; Torres i ostali, 2016).

Najvišu klasu puteva predstavljaju auto-putevi. Dok većina razvijenih zemalja ima dobro razvijenu mrežu auto-puteva, nesporno je da postoji potreba za proširenjem auto-putne infrastrukture u zemljama u razvoju. Statistički podaci Međunarodnog transportnog foruma (engl. *International Transport Forum - ITF*) ukazuju na činjenicu da su ulaganja u projekte izgradnje auto-puteva u zemljama u razvoju, koje teže ka članstvu u EU, u poslednjoj deceniji zabeležila veliki porast u odnosu na prethodni period (OECD, 2020). Dodatno, veći broj zemalja u razvoju je skoncentrisan na proširenje postojeće mreže auto-puteva i planiranje nove izgradnje.

Planiranje izgradnje novih auto-puteva se zasniva na sagledavanju trenutnih i budućih transportnih potreba, imajući u vidu zahtev da se izgradnja auto-puta realizuje uz minimalne troškove i uticaj na životnu sredinu. U ranim fazama planiranja je teško ostvariti

precizne procene troškova za izgradnju novog auto-puta (Chou, 2011), dok su u isto vreme ove procene ključne za preinvesticione studije, kao i za donošenje ispravnih odluka o izgradnji novog auto-puta (Kim i ostali, 2004). Potcenjivanje i precenjivanje troškova može izazvati ozbiljne probleme u slučajevima ograničenog budžeta. Potcenjivanje troškova može dovesti do neodgovarajuće alokacije resursa i velikih prekoračenja troškova (Flyvbjerg i ostali; Odeck, 2004), dok precenjivanje troškova može „zarobiti“ sredstva koja bi mogla biti uložena u neke druge svrhe (Cirilovic i ostali, 2013). Međutim, iako postoji veći broj predloženih pristupa za procenu troškova, najnovije studije pokazuju da su procene troškova u ranim fazama razvoja projekta i dalje izazovan problem (Antonioni i ostali, 2023; Uysal i Sonmez, 2023).

Veliki broj državnih institucija zaduženih za planiranje izgradnje saobraćajne infrastrukture se širom sveta susreće sa brojnim izazovima prilikom izrade procena troškova za nove projekte izgradnje auto-puteva. Postojeća istraživanja svedoče da se njihove procene mogu značajno razlikovati od procena troškova potencijalnih izvođača radova (Li i ostali, 2021). Naročito, u slučajevima kada je predviđeno da tender bude raspisan za ugovaranje po sistemu „projektuj-izgradi“, što podrazumeva da su dostupne samo oskudne tehničke informacije o projektu i da su započeti samo prvi koraci u procesu projektovanja, procene troškova u ranim fazama planiranja predstavljaju ogroman izazov kako za državne institucije, tako i za potencijalne izvođače radova (Liang i ostali, 2021).

Procene troškova u početnim fazama razvoja projekta podrazumevaju da se zaključci o troškovima donose na osnovu istorijskih podataka sa prethodnih projekata i pretpostavki o budućim projektima. Nedostatak baza podataka sa prethodnih projekata, kao i nedostupnost izveštaja o realizovanim projektima su čest problem u zemljama u razvoju (Sodikov, 2005). Čak i kada postoje, dostupne baze podataka su često nestrukturirane, ograničenog obima i sadrže nekoherentne i nepotpune informacije, što može uticati na ispravno donošenje odluka. Uzimajući u obzir navedeno, prikupljanje istorijskih podataka predstavlja najzahtevniju aktivnost u okviru procene troškova (Garcia de Soto, 2014). Takođe, utvrđivanje informacija o budućim projektima zahteva ulaganje određenog napora, što proces procene troškova čini još težim. Osim zadovoljavajućeg nivoa tačnosti, za procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, od suštinskog značaja je i mali napor koji je potrebno uložiti za njihovo određivanje.

Jedinični troškovi izgradnje auto-puteva mogu značajno varirati među zemljama i tokom vremena, ali i u istoj zemlji i istoj godini (Cirilovic i ostali, 2013), npr. zbog različitih topografskih uslova terena itd. Pored toga, ekonomski uslovi i stanje građevinskog tržišta u zemlji, kao i stanje društva u kome se projekat realizuje mogu biti značajni troškovno uticajni parametri (Mahdavian i ostali, 2021). Utvrđivanje vrednosti troškovnih parametara za budući projekat zahteva ulaganje određenog nivoa napora (vremena i novca), gde među svim kategorijama parametri vezani za proces projektovanja zahtevaju najveći stepen napora. Što se pre formira inicijalna procena troškova, to su potrebni srazmerno niži troškovi i vreme (Gardner i ostali, 2016). Kako faze projekta napreduju, preciznost

troškovnih parametara vezanih za proces projektovanja se povećava, dok ostali parametri, koji su uglavnom javno dostupni, ostaju isti. Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara predstavlja kritičnu fazu u procesu razvoja procene troškova od koje zavisi tačnost procene (Elmousalami, 2020). Prethodna istraživanja su pokazala da znanja i percepcije eksperata mogu imati dragocen uticaj na izbor ključnih troškovnih parametara (Tayefeh Hashemi i ostali, 2020; Kim, 2013; Meharie i ostali, 2019; Adel i ostali, 2016).

Postojeća istraživanja koja se bave procenama troškova izgradnje auto-puteva u ranim fazama razvoja projekta su pretežno fokusirana na postizanje maksimalne moguće tačnosti procene troškova, ne uzimajući u obzir zahtevani nivo napora koji je potrebno uložiti za njihovo određivanje.

Uzimajući u obzir prepoznate izazove i rizike vezane za procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, postavljaju se sledeća pitanja: Da li je moguće sa samo nekoliko ključnih troškovno uticajnih parametara formirati procenu troškova izgradnje auto-puta u početnim fazama razvoja projekta koja će imati zadovoljavajuću tačnost? Da li su percepcije investitora i izvođača radova u vezi sa ključnim troškovnim parametrima jednake? Mogu li se prikupiti podaci i formirati strukturirana baza istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva iz zemalja u razvoju (Srbije i okruženja)?

S obzirom na izložene probleme i definisana istraživačka pitanja, može se zaključiti da postoji očigledna potreba za razvojem jednostavne metodologije koja će pružiti zadovoljavajuću tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta uz mali uloženi napor.

1.3 Istraživačke hipoteze i ciljevi

Kako bi se prevazišli identifikovani problemi koji su prethodno opisani i odgovorilo na definisana istraživačka pitanja, predloženi su ciljevi istraživanja i formulisane su hipoteze istraživanja.

Osnovni cilj istraživanja jeste predlog sistema podrške odlučivanju koji će investitorima i potencijalnim izvođačima radova pružiti zadovoljavajuću tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta, i to za kratko vreme i uz relativno niske troškove.

Istraživanje u ovoj disertaciji je bazirano na sledećim hipotezama:

1. Moguće je formirati originalnu bazu istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva iz zemalja u razvoju koja će služiti kao osnova za dalju analizu troškova;
2. Moguće je kreirati hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta integracijom istorijskih podataka sa prethodnih projekata, empirijskog istraživanja i metoda mašinskog učenja;

3. Zadovoljavajuća tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta može se postići uz mali uloženi napor i sa samo nekoliko ključnih troškovno uticajnih parametara;
4. Postoji razlika između percepcija investitora i izvođača radova vezano za ključne troškovno uticajne parametre.

Kako bi se ostvario glavni istraživački cilj i potvrdile istraživačke hipoteze, formulisano je nekoliko specifičnih ciljeva istraživanja:

1. Prikupljanje podataka i formiranje originalne baze istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica iz zemalja u razvoju (Srbija, Bosna i Hercegovina, Severna Makedonija i Crna Gora);
2. Identifikacija troškovno značajnih objekata u sklopu trase auto-puta i formiranje originalnih baza podataka o karakteristikama troškovno značajnih objekata;
3. Ispitivanje postojeće prakse kreiranja baza istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva u investitorskim i izvođačkim kompanijama u Srbiji, Bosni i Hercegovini, Severnoj Makedoniji i Crnoj Gori na osnovu empirijskog istraživanja (ankete);
4. Predlog metodologije za izbor ključnih troškovno uticajnih parametara bazirane na empirijskom istraživanju (anketnom upitniku);
5. Razvoj i validacija modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva primenom metoda mašinskog učenja, koji će pružiti zadovoljavajuću tačnost procene uz minimalni uloženi napor;
6. Analiza i poređenje perspektiva investitora i izvođača radova u vezi sa ključnim troškovno uticajnim parametrima i modeliranjem procene troškova.

1.4 Struktura disertacije

Doktorska disertacija je organizovana u sedam glavnih poglavlja: 1. Uvod; 2. Pregled literature; 3. Metodologija; 4. Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva; 5. Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara; 6. Modeliranje procene troškova i 7. Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja. Kratka objašnjenja svakog od poglavlja su data u nastavku.

Poglavlje 1 - Uvod pruža uvid u opravdanost i obim istraživanja. U poglavlju je opisana pozadina istraživanja, istaknut je značaj problema istraživanja i definisana su istraživačka pitanja. Nakon toga, definisani su glavni i prateći ciljevi istraživanja i formulisane su istraživačke hipoteze. Konačno, na kraju uvodnog poglavlja je predstavljena struktura disertacije i ukratko su objašnjena sva poglavlja.

Poglavlje 2 – Pregled literature predstavlja polaznu tačku istraživanja i prikazuje stanje postojeće literature na temu predmeta istraživanja. U poglavlju je najpre istaknut doprinos i značaj auto-puteva. Nakon toga, prikazan je pojam procene troškova i njenih svojstava. Poseban fokus poglavlja je usmeren na pregled postojeće literature na temu procene troškova putnih infrastrukturnih projekata. Analizirani su ključni troškovno uticajni parametri i pristupi za njihovo određivanje, kao i pristupi za procenu troškova i njihovi elementi, svojstva i tehnike. Poglavlje se završava zaključnim razmatranjem ograničenja postojećih istraživanja.

Poglavlje 3 – Metodologija ukratko opisuje metodološki okvir za ispunjenje glavnog cilja istraživanja. Poglavlje opisuje principe koji su integrisani u metodologiju i koji su doveli do izbora metodologije koja je predložena u ovoj disertaciji. Pored toga, prikazana je struktura metodološkog istraživanja i objašnjena je povezanost između različitih faza istraživanja u okviru metodologije za razvoj hibridnog sistema. Na kraju, data su kratka objašnjenja svake od faza istraživanja.

Poglavlje 4 – Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva predstavlja prvu fazu istraživanja u okviru predložene metodologije. Najpre je istaknut značaj formiranja originalne baze podataka, kako na osnovu preporuka iz literature, tako i na osnovu rezultata anketiranja eksperata iz investitorskih i izvođačkih kompanija u Srbiji i okruženju. Potom, detaljno je prikazana struktura baze podataka sa statističkom analizom podataka i objašnjenjem podataka o karakteristikama projekata i njihovog okruženja, kao i podataka o troškovima. Na kraju je opisana Pareto analiza podataka iz predmera i predračuna koja je dovela do utvrđivanja troškovno značajnih objekata u sklopu trase auto-puta.

Poglavlje 5 – Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara ima za cilj određivanje troškovnih parametara koji imaju visok uticaj na troškove, a ne zahtevaju veliki napor za njihovo određivanje. Poglavlje predstavlja drugu fazu istraživanja u okviru razvoja sistema za procenu troškova i podrazumeva predloženu metodologiju koja se bazira na jedinstvenom anketnom upitniku. Rezultati anketiranja investitora i izvođača radova, kao ključnih učesnika na projektu, su diskutovani i izvršeno je poređenje percepcija dve grupe ispitanika. Predložena je metodologija za rangiranje troškovnih parametara uzimajući u obzir percepcije ispitanika o nivou uticaja parametara na troškove izgradnje auto-puteva i nivou napora koji je potrebno uložiti za njihovo određivanje i upoređena su rangiranja u skladu sa različitim perspektivama.

Poglavlje 6 – Modeliranje procene troškova predstavlja treću fazu istraživanja čiji je cilj predlog modela za procenu troškova u početnim fazama razvoja projekta koji mogu da obezbede zadovoljavajuću tačnost predviđanja uz minimalni napor. Kroz poglavlje je opisan proces prethodne pripreme podataka, predstavljene su metode za razvoj predikcionih modela, objašnjen je proces modeliranja, kao i proces ocene performansi, validacije i poređenja modela. Rezultati validacije različitih modela su predstavljeni uz

diskusiju i izvršeno je poređenje predikcionih modela. Na kraju su izneta zaključna razmatranja u vezi sa postizanjem zadatih ciljeva.

Poglavlje 7 - Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja, kao krajnje poglavlje doktorske disertacije, ističe ključne rezultate i zaključke istraživanja. Poglavlje, takođe, opisuje doprinose ovog istraživanja postojećem korpusu znanja. Za kraj, u poglavlju su predstavljena ograničenja istraživanja, kao i preporuke za pravce daljih istraživanja.

2. Pregled literature

2.1 Uvod

U ovom poglavlju je, kao polazna tačka istraživanja, izvršen pregled postojeće literature na temu predmeta istraživanja. Najpre je istaknut značaj auto-puteva, kao i transportne infrastrukture uopšte. Nakon toga, predstavljen je pojam procene troškova i razmotrene su vrste procena troškova i nivoi zahtevanih tačnosti procena troškova u zavisnosti od vrste procene troškova i nivoa razrade projekta. Glavni deo poglavlja odnosi se na pregled postojećih istraživanja vezanih za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata. Izvršen je pregled prethodno analiziranih troškovno uticajnih parametara putnih infrastrukturnih projekata i pristupa za njihovo određivanje. Detaljno su razmotreni postojeći modeli i sistemi za procenu troškova i analizirani su njihovi elementi, svojstva i tehnike. Za kraj, predstavljena su zaključna razmatranja u vezi ograničenja postojećih istraživanja.

2.2 Auto-putevi i njihov značaj

2.2.1 Značaj transportne infastrukture

Transport robe i putnika, pored toga što je neizostavna komponenta privrede, igra glavnu ulogu i u društvenom razvoju. Značaj i doprinosi transporta su višestruki i mogu se ogledati u različitim aspektima, kao što su (Rodrigue i ostali, 2013):

1. Istorijski;
2. Društveni;
3. Politički;
4. Ekonomski;
5. Ekološki.

Funkcionisanje saobraćaja podrazumeva veliki utrošak neobnovljivih resursa (zemljište, energija, itd.), kao i negativne uticaje na prostor, životnu sredinu, bezbednost, itd. Sa druge strane, dobit ostvarena postojanjem i funkcionisanjem saobraćajnog sistema srazmerna je navedenim utrošcima i posledicama (Maletín, 2004).

Istraživački program Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (engl. *Organisation for Economic Co-operation and Development*, u daljem tekstu OECD) za drumski saobraćaj i intermodalne veze (OECD, 2002) bavio se analizom uticaja ulaganja u transportnu

infrastrukturu na regionalni razvoj. Program je dao preporuke za razvoj i sprovođenje efikasnih transportnih politika i istakao da se doprinos ulaganja u saobraćajnu infrastrukturu, pored doprinosa direktnim korisnicima, ogleda i u značajnim društveno-ekonomskim efektima. Na regionalnom nivou, razvoj saobraćajne infrastrukture povećava pristupačnost regiona i povoljno utiče na stopu zaposlenosti i produktivnost.

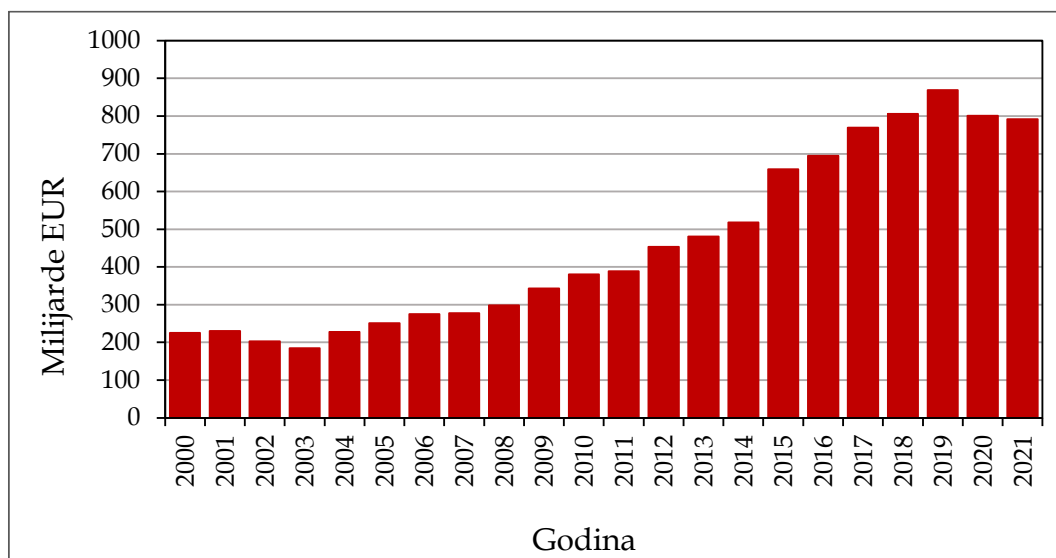
Prema modalnoj podeli za tri vrste transportne infrastrukture (drumska, železnička i unutrašnji plovni putevi) (Eurostat, 2022), 77,4% ukupnog teretnog saobraćaja u EU u 2020. godini izvršeno je korišćenjem putne infrastrukture. Takođe, putna infrastruktura predstavlja najdominantniji tip transportne infrastrukture i za putnički saobraćaj sa učešćem od preko 90% u 2018. godini (Eurostat, 2020). Drumski transport ima bitnu ulogu i u evropskoj ekonomiji i društvu doprinoseći GPD-u sa 11,5% (CEDR, 2013).

2.2.2 Auto-putevi

Putevi se prema važećem Zakonu o putevima republike Srbije definišu na sledeći način (Zakon o putevima, 2018): „Put je građevinski objekat namenjen za saobraćaj, odnosno utvrđena površina koju kao saobraćajnu površinu mogu da koriste svi ili određeni učesnici u saobraćaju, pod uslovima određenim ovim zakonom ili drugim propisima.“

Početak izgradnje puteva seže u daleku prošlost od najstarijeg izgrađenog puta u Mesopotamiji (Longfellow, 2017). Stari Rimljani su nekoliko stotina godina pre nove ere počeli da grade puteve kako bi ostvarili vezu između gradova i time pružili podršku vojnim akcijama, a na vrhuncu carstva čak 85.000 km puteva je povezivalo glavni grad Rim sa njegovim dalekim granicama (Berechman, 2003).

Tehnologije izgradnje puteva su vremenom napredovale, ali investiciona ulaganja u putne infrastrukturne projekte su i danas značajna kao i u prošlosti. Prema podacima Svetskog ekonomskog foruma, Svetska banka je od 2002. do 2015. godine uložila više sredstava u izgradnju i rekonstrukciju puteva nego u obrazovanje, zdravstvo i socijalne usluge zajedno (World economic forum, 2015). Na Slici 1 su prikazani iznosi investicionih ulaganja u izgradnju i održavanje putnih infrastrukturnih objekata u 52 zemlje od 2000. do 2021. godine, prema statističkim podacima OECD-a (OECD, 2022).



Slika 1. Godišnji iznos investicionih ulaganja u izgradnju i održavanje putnih infrastrukturnih objekata izražen u milijardama EUR (OECD, 2022).

Put je kompleksan saobraćajni infrastrukturni objekat za koji ne postoji jedinstven način klasifikacije, već je puteve moguće klasifikovati prema više različitih kriterijuma (Vitkienė i ostali, 2017; Paraphantakul, 2014). Neki od najčešće korišćenih kriterijuma za klasifikaciju puteva su: funkcija i kapacitet puteva, geopolitički kriterijum, eksploatacioni kriterijumi i tehnički kriterijumi. Pojedine organizacije za puteve imaju objavljena detaljna uputstva za klasifikaciju puteva koja definišu osnovne koncepte, kriterijume i procedure (FHWA, 2013; AASHTO, 2018).

U Srbiji se klasifikacija i kategorizacija puteva vrši u skladu sa Zakonom o putevima (Zakon o putevima, 2018), gde je na osnovu značaja saobraćajnog povezivanja izvršena podela javnih puteva na:

1. državne puteve;
 - a) državni putevi I reda;
 - b) državni putevi II reda;
2. opštinske puteve;
3. ulice.

Fokus ove disertacije je na auto-putevima koji pripadaju kategoriji državnih puteva I reda. Državni putevi I reda su putevi od značaja za državu i deo su mreže evropskih puteva.

Pored navedenih kriterijuma, puteve je moguće klasifikovati i prema tehničkim kriterijumima. Topografske karakteristike terena imaju veliki uticaj na definisanje trase puta i predstavljaju bitnu karakteristiku po kojoj je potrebno izvršiti klasifikaciju puta. Takođe, i troškovi izgradnje puteva u velikoj meri zavise od karakteristika terena (Kim, 2013; Sodikov, 2009). Prema ovom kriterijumu (Tabela 1), razlikuju se putevi u ravničarskom, brežuljkastom, brdovitom i planinskom terenu (Katanić i ostali, 1983).

Tabela 1. Klasifikacija puteva prema uslovima terena (Katanić i ostali, 1983).

Fizički pokazatelji	Ravničarski	Brežuljkast	Brdovit	Planinski
Relativna visinska razlika reljefa na 1000 m rastojanja	nezatna	do 70 m	70-150 m	≥ 150 m
Nagib padina	do 1:10	1:10 - 1:5	1:5 - 1:2	≥ 1:2

Auto-putevi predstavljaju najvišu saobraćajnu klasu puteva namenjenu brzom motornom saobraćaju i definisani su na sledeći način (Zakon o putevima, 2018):

„Auto-put je državni put namenjen za motorni saobraćaj, sa fizički razdvojenim kolovozima po smerovima, bez ukrštanja u istom nivou i sa potpunom kontrolom pristupa, koji ima najmanje dve saobraćajne i jednu zaustavnu traku za svaki smer i kao takav je obeležen propisanom saobraćajnom signalizacijom i opremom“.

Postojeći statistički podaci ukazuju da su investiciona ulaganja u izgradnju i održavanje auto-puteva izrazito visoka, kako u Srbiji, tako i u svetu. Prema podacima američkog Nacionalnog biroa za ekonomska istraživanja, federalne, državne i lokalne vlade u SAD-u su u 2017. godini uložile približno 300 milijardi dolara na izgradnju i održavanje transportne infrastrukture. Od ukupnih troškova, u izgradnju i održavanje auto-puteva je utrošeno 177 milijardi dolara, što je približno 0,9% GDP-a (Foy, 2019).

Auto-putna infrastruktura doprinosi ekonomskom razvoju na više načina, a svi su povezani sa povećanjem mobilnosti. Dok proizvođačima pružaju povoljniju i veću pristupačnost različitim tržištima i izvorima resursa, auto-putevi radnicima pružaju veće mogućnosti za zapošljavanje (Shatz i ostali, 2011).

Dok većina razvijenih zemalja ima dobro razvijenu mrežu auto-puteva, statistički podaci (Eurostat, 2022b) ukazuju na to da postoji potreba za proširenjem mreže auto-puteva u zemljama u razvoju koje teže ka članstvu u EU.

Planiranje izgradnje budućih auto-puteva zasniva se na razmatranju sadašnjih i proceni budućih transportnih potreba imajući u vidu zahtev da se izgradnja auto-puta realizuje uz minimalne troškove i uticaj na životnu sredinu. U ranim fazama planiranja se teško postižu visoke tačnosti procene troškova (Chou, 2011), ali su ove procene troškova ključne za donošenje ispravnih odluka o tome da li izgraditi novi auto-put ili ne (Kim i ostali, 2004). Pojam i vrste procene troškova, kao i zavisnost opsega zadovoljavajućih tačnosti procena troškova od nivoa razrade projekta će biti detaljno razmotreni u narednom tekstu.

Troškovi izgradnje auto-puteva mogu značajno varirati među različitim zemljama i tokom vremena, ali i u istoj zemlji i u istoj godini zbog različitih troškovno uticajnih parametara, kao što su topografski i vremenski uslovi, cene resursa, stopa inflacije itd. U daljem tekstu će biti više reči o troškovno uticajnim parametrima i načinu njihovog određivanja.

2.3 Procene troškova

2.3.1 Pojam procene troškova

Trošak se prema RICS-u (engl. *Royal Institution of Chartered Surveyors*) definiše kao iznos novca koji je kupac platio u nekoj transakciji ili iznos novca koji je potrebno utrošiti da bi se napravio neki proizvod, dok je cena iznos koji prodavac potražuje u nekoj kupoprodajnoj transakciji (RICS, 2020). Dakle, navedena dva termina predstavljaju istu vrednost.

U literaturi se iz oblasti procene troškova mogu pronaći opšta teorijska razmatranja koja se ne odnose samo na građevinarstvo (Stewart, 1991; Mislick i Nussbaum, 2015; PMI, 2017). S tim u vezi, postoji više definicija procena troškova u različitim izvorima.

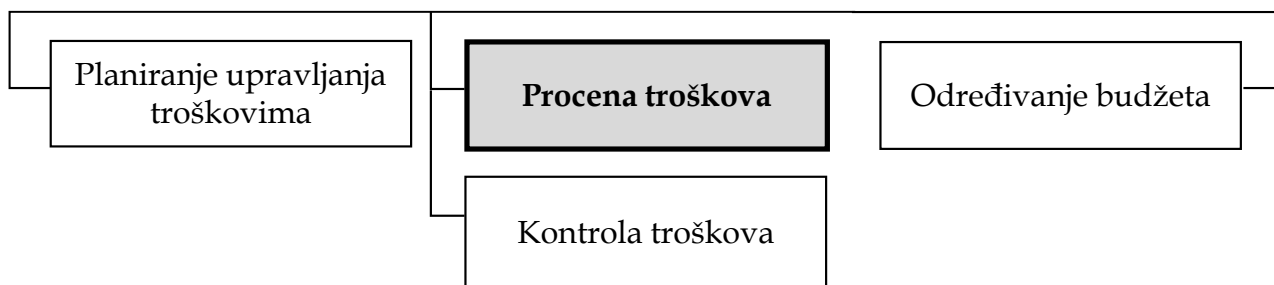
U vodiču PMBOK (engl. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*) (PMI, 2017) američkog Instituta za upravljanje projektima (engl. *Project Management Institut*), procena troškova je definisana na sledeći način: „Procena troškova je kvantitativna procena verovatnih troškova resursa potrebnih za završetak aktivnosti. To je prognoza koja se zasniva na informacijama koje su poznate u datom trenutku.“

U vodiču Evropske komisije za Cost-Benefit analizu (European Commission, 2014), procena troškova je definisana kao ključni ulazni podatak za finansijsku analizu koji predstavlja procenu finansijskih potreba za realizaciju projekta.

Sa druge strane, Ivković i ostali (2021) su, u širem značenju pojma, procenu troškova u građevinarstvu definisali kao „proces u kome strana zainteresovana za izgradnju investicionog objekta pokušava da odredi količinu resursa (radna snaga, materijal, oprema, vreme i na kraju, obavezno, novac) kako bi se postigao neki projektni cilj ili donela odluka značajna za realizaciju projekta (dobijanje posla, izbor izvođača, ocena opravdanosti projekta, planiranje izgradnje i slično)“.

Kao najpoznatiji standard za upravljanje troškovima u okviru upravljanja projektima, izdvaja se PMBOK, vodič koji je izdao američki Institut za upravljanje projektima (u daljem tekstu PMI). Prema ovom vodiču, upravljanje troškovima predstavlja jednu od deset oblasti upravljanja projektima (PMI, 2017) i uključuje četiri glavna procesa prikazana na Slici 2:

1. Planiranje upravljanja troškovima;
2. Procena troškova;
3. Određivanje budžeta;
4. Kontrola troškova.



Slika 2. Prikaz procesa u okviru upravljanja troškovima (modifikovano iz (PMI, 2017)).

Planiranjem upravljanja troškova se definiše kako će troškovi biti planirani i budžetirani, a zatim praćeni i kontrolisani. Na pojedinim projektima, naročito onima koji su manjeg obima, procena troškova i određivanje budžeta su strogo povezani i mogu se posmatrati kao jedan proces, ali se prikazuju kao odvojeni procesi jer podrazumevaju različite alate i tehnike za svoje izvršavanje. (PMI, 2017)

U literaturi je dostupno više različitih tumačenja vrsta procena troškova i njihovih pristupa, o čemu će biti reči u daljem tekstu.

2.3.2 Vrste procena troškova

Za sprovođenje procena troškova su potrebni brojni resursi, kao što su vreme, informacije, različito osoblje, i sam model za procenu. Za razvoj i evaluaciju modela procene troškova su ključne tri karakteristike: pouzdanost, efikasnost i fleksibilnost. (Ji i ostali, 2019)

Procene troškova se sprovode u različitim vremenskim trenucima u životnom ciklusu projekta, od najranijih faza razvoja projekta do primopredaje projekta (Flyvbjerg i ostali, 2018). Prema Ivković i ostali (2021), postoje četiri vrste procena troškova sa stanovišta izvođača radova, u zavisnosti od faze razvoja projekta:

1. Konceptualna (gruba) procena;
2. Preliminarna (detaljna) procena;
3. Definitivna (izvođačka) procena;
4. Totalna (konačna) procena.

Pre svega, zadatak konceptualne procene troškova je da doprinese donošenju odluka o daljem radu na razradi projekta i razvoju daljih procena (Ivković i ostali, 2021). Prema Asmar i ostali (2011), konceptualna (gruba) procena troškova se definiše kao procena troškova u trenutku kada je samo 10% do 30% procesa projektovanja završeno. Kako je definisano u (Asmar i ostali, 2011), konceptualna procena troškova je procena koja se priprema u trenutku kada postoji samo opšta ideja o tome šta će projekat obuhvatati. To podrazumeva da se za većinu troškova mora izvesti zaključak na osnovu podataka sa prethodnih projekata.

Procena troškova u najranijim fazama razvoja projekta jeste veliki izazov jer ona predstavlja ključni podatak kada je potrebno doneti odluku o daljem anagažovanju na razradi projekta i opravdanosti ulaganja u određeno rešenje, a broj informacija kojima se raspolaže u tom periodu je veoma mali. Oskudan obim informacija sa sobom nosi visok nivo neizvesnosti, promena i rizika. Procenjivanje troškova u uslovima neizvesnosti može biti veoma kritično jer neizvesnost podrazumeva da nisu poznate sve informacije o budućnosti, a pretpostavke koje danas pravimo se mogu drugačije pokazati u stvarnosti kako projekat napreduje (Torp i Klakegg, 2016).

Za formiranje konceptualnih procena troškova se koriste najjednostavniji modeli procene, kao što su grubi modeli zasnovani na veličini objekta ili analogni modeli na osnovu podataka sa prethodnih projekata (Ivković i ostali, 2021).

Preliminarna (detaljna) procena troškova predstavlja glavni izvor informacija o troškovima u fazi izrade ponude, pre ugovaranja. To je detaljna procena čija izrada može zahtevati nekoliko dana do nekoliko meseci, u zavisnosti od veličine i kompleksnosti projekta i kvaliteta ulaznih podataka. Rezultat preliminarne procene troškova jeste ponuda. Definitivna (izvođačka) procena troškova predstavlja dodatnu optimizaciju troškova nakon ugovaranja, dok totalna procena predstavlja konačnu procenu nakon završetka svih radova uključujući sve izmene koje su se dogodile u toku izvođenja radova. (Ivković i ostali, 2021)

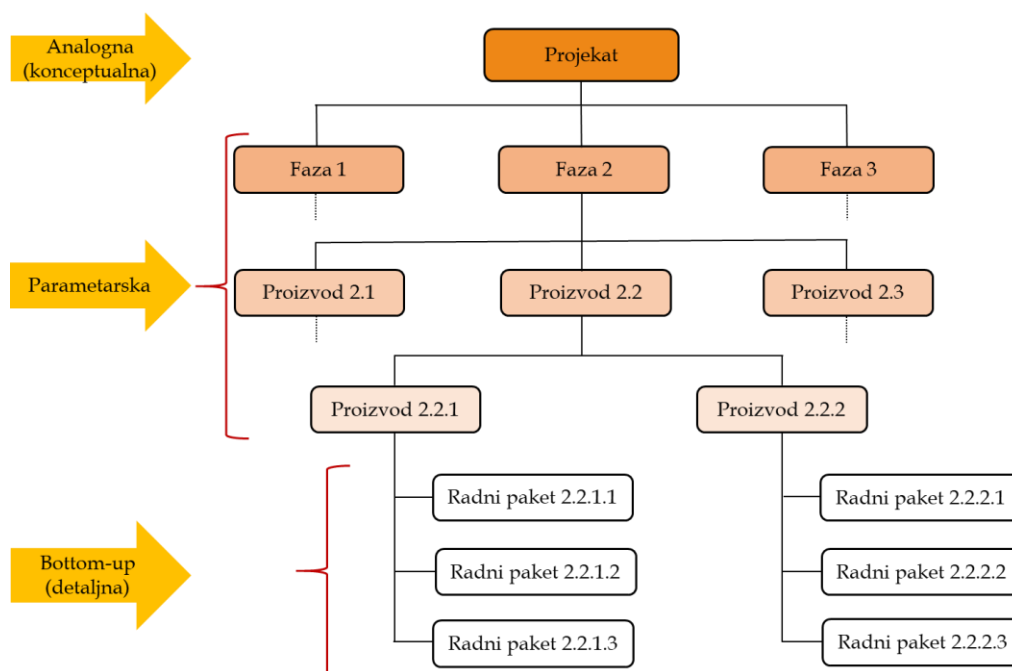
Prema proširenju PMI standarda za oblast građevinarstva (engl. *Construction Extension to the PMBOK Guide*) (PMI, 2016), najrasprostranjeniji pristupi za procenu troškova u građevinarstvu jesu sledeći (Slika 3):

1. Analogno procenjivanje;
2. Parametarska procena;
3. Bottom-up (detaljna) procena;

Analogne procene se često nazivaju i tzv. top-down procenama. Analogna procena je tehnika za procenu troškova na osnovu istorijskih podataka sa prethodnih projekata. To je tehnika koja zahteva manju količinu vremena i troškova za sprovođenje procene troškova, ali i pruža manji nivo tačnosti u odnosu na druge tehnike.

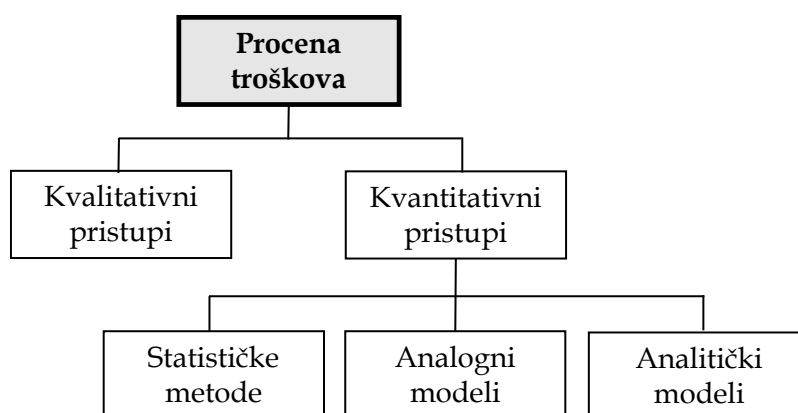
Parametarskim procenama se troškovi određuju primenom statističkih odnosa između relevantnih istorijskih podataka i drugih promenljivih specifičnih za projekat.

Bottom-up tehnika se primenjuje kada su poznati i dostupni detaljni podaci o projektu. Preduslov za primenu ove tehnike je jasno definisan i detaljan obim radova koji uključuje strukturu radova (WBS), crteže i specifikacije. Rezultat primene bottom-up tehnike za procenu troškova jeste transparentna i strukturirana procena troškova koja ima visok nivo tačnosti i pouzdanosti. Na tačnost ovakve procene troškova utiče veličina i složenost pojedinačnih aktivnosti, radnih paketa i proizvoda.



Slika 3. Prikaz procena troškova u odnosu na poznate informacije o projektu koristeći WBS (modifikovano iz (PMI, 2016)).

Prema Hashemi i ostali (2020), pristupi za procenu troškova se mogu klasifikovati u dve glavne kategorije: kvalitativni i kvantitativni. Na Slici 4 je dat ukupan prikaz metoda modeliranja procene troškova.



Slika 4. Pristupi za procenu troškova (modifikovano iz (Hashemi i ostali, 2020)).

Kvalitativni pristupi se zasnivaju na stručnom mišljenju eksperata i heurističkim pravilima. Nedostatak ovakvih pristupa je to što mišljenje eksperata može biti praćeno subjektivizmom i pristrasnošću. S druge strane, heuristička pravila u proceni troškova su posledica intuitivnih prosuđivanja i izvučenja su iz relativno sličnih projekata. (Hashemi i ostali, 2020)

Kvantitativni pristupi se oslanjaju na proces prikupljanja i analize istorijskih podataka i podrazumevaju primenu kvantitativnih modela, alata i tehnika. Mogu se podeliti na statističke, analogne i analitičke. (Hashemi i ostali, 2020)

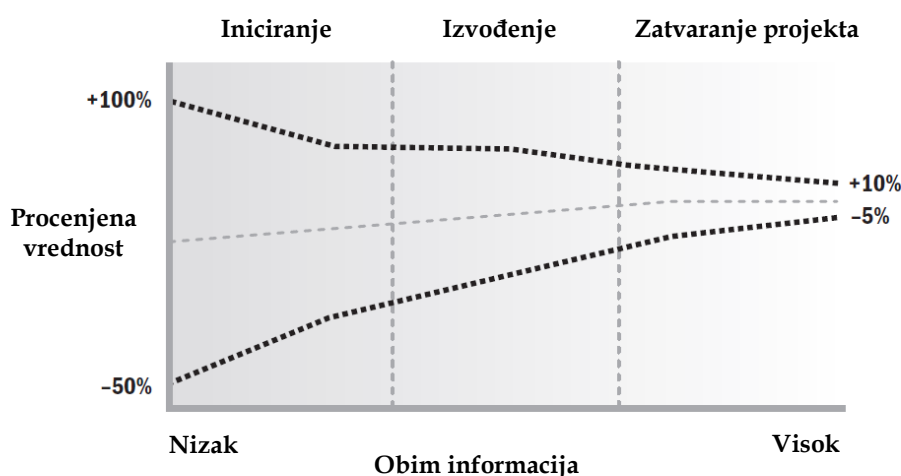
Barakchi i ostali (2017) su ustanovili da najčešće korišćena metoda za procenu troškova na putnim infrastrukturnim projektima jeste metoda jediničnih troškova, a nju prate parametarske procene, softverski programi i veštačke neuronske mreže.

2.3.3 Tačnost procena troškova

S obzirom na sveprisutan problem prekoračenja troškova, pouzdanost (tačnost) procene troškova predstavlja kritičan faktor za uspeh bilo kog projekta (Elmousalami, 2020). Brojni faktori mogu uticati na tačnost procene troškova, kao što su iskustvo u proceni, precizni crteži i specifikacije, dostupnost podataka sa prethodnih, sličnih projekata, kompleksnost projekta, pouzdanost informacija itd. (Hatamleh i ostali, 2018). Tačnost procenjenih troškova u najvećoj meri zavisi od raspoloživih informacija u trenutku formiranja procene troškova (Peško, 2013).

Procenjeni troškovi se obično razlikuju u različitim vremenskim periodima, odnosno tačnost procene troškova se vremenom povećeva (Flyvbjerg i ostali, 2018). Ponekad ove razlike u procenjenim troškovima mogu biti velike zbog poremećaja koji se mogu dogoditi u toku realizacije projekta, a koji nisu mogli biti predviđeni u početnim fazama projekta.

Povezanost tačnosti procene troškova sa porastom obima poznatih informacija kroz životni ciklus projekta prikazana je na Slici 5.

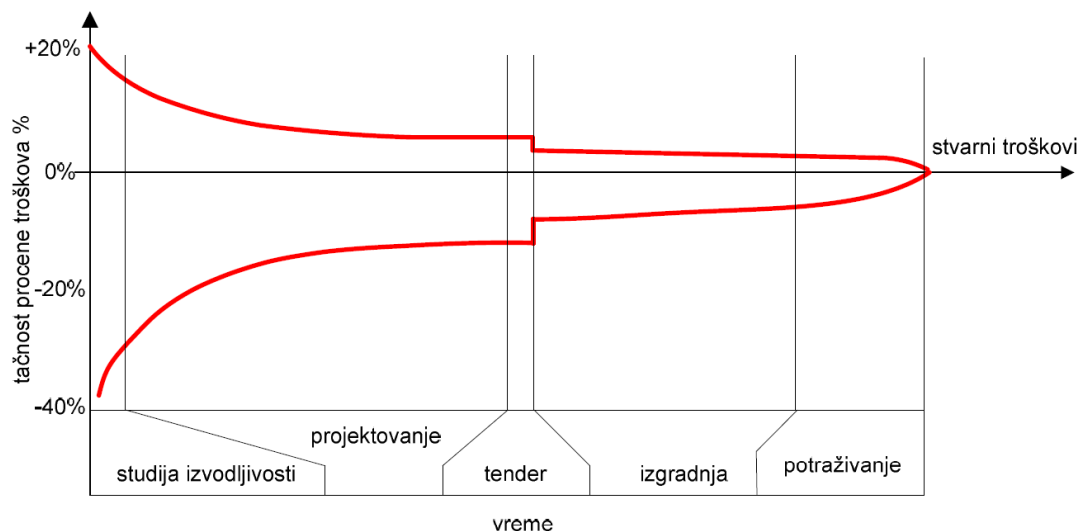


Slika 5. Povezanost tačnosti procene troškova sa porastom obima informacija (PMI, 2016).

U PMI standardu se navodi da je u početnim fazama razvoja projekta okvirna tačnost procene troškova u rasponu od -25% do +75%, dok procene troškova u kasnijim fazama razvoja projekta, kada je dostupan i poznat veći broj informacija, mogu imati opseg tačnosti od -5% do +10%. Tačnost procene troškova pre svega zavisi od toga koliko su precizno definisane poznate informacije. Sa napretkom projekta kroz faze životnog ciklusa povećava se obim poznatih informacija, a samim time i tačnost procene troškova (Slika 5). (PMI, 2016)

Na Slici 6 je dat hronološki prikaz tačnosti procene troškova prema Barnes (1974). Sa slike se može uočiti da se u početnim fazama razvoja projekta, u fazi izrade studije izvodljivosti,

greška procene troškova kreće u granicama od -40% do +20%. U fazi izrade projektne dokumentacije, tačnost procene troškova se povećava. Na početku sprovođenja tenderske procedure greška se kreće u opsegu od -15% do +10%, dok se na kraju tenderske procedure greška procene troškova nalazi u granicama od -10% do +5%. (Peško, 2013)



Slika 6. Hronološki prikaz tačnosti procene troškova (Peško, 2013).

Postoji veći broj različitih metrika za ocenu performansi (tačnosti) procene troškova. Pregled različitih metrika za ocenu performansi i poređenje modela je dat u daljem tekstu.

2.4 Troškovno uticajni parametri putnih infrastrukturnih projekata

Iako su predmet analize u ovoj disertaciji projekti izgradnje auto-puteva, pregledom literature su obuhvaćena istraživanja na temu procene troškova svih vrsta putnih infrastrukturnih projekata. Istraživanje koje su sprovedeli Barakchi i ostali (2017) se bavi pregledom literature na temu pristupa za procenu troškova za transportne infrastrukturne projekte. U radu je primećeno da je putnom sektoru posvećeno dosta više pažnje nego drugim vrstama transportnih infrastrukturnih projekata, a kao mogući razlog tome navodi se činjenica da putni projekti obično nadmašuju druge transportne projekte u pogledu investicionih ulaganja (Barakchi i ostali, 2017).

Iscrpni pregled postojeće literature vezane za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata je izvršen kako bi se identifikovali prethodno analizirani troškovno uticajni parametri i pristupi određivanju ključnih troškovnih parametara. Cilj je bio da se identifikuju metodološki pristupi za modeliranje procena troškova i analiziraju njihovi osnovni elementi, svojstva i tehnike, ali i da se identifikuju korišćeni pristupi za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara i koji su se to parametri u postojećim studijama pokazali kao ključni za procenu troškova.

Pregled literature na temu procene troškova putnih infrastrukturnih projekata je podrazumevao prikupljanje i analizu rezultata istraživanja koji su objavljeni u referentnim naučnim i drugim publikacijama. Kako bi se izveli zaključci, izvršen je pregled velikog broja studija objavljenih u periodu između 1998. i 2022. godine, od kojih je većina objavljena u relevantnim naučnim časopisima indeksiranim na SCI listi, kao što su: *Journal of Construction Engineering and Management*, *Construction Management and Economics*, *Journal of Computing in Civil Engineering*, *Journal of Civil Engineering and Management*, *Journal of Management in Engineering* i *Advances in Civil Engineering*.

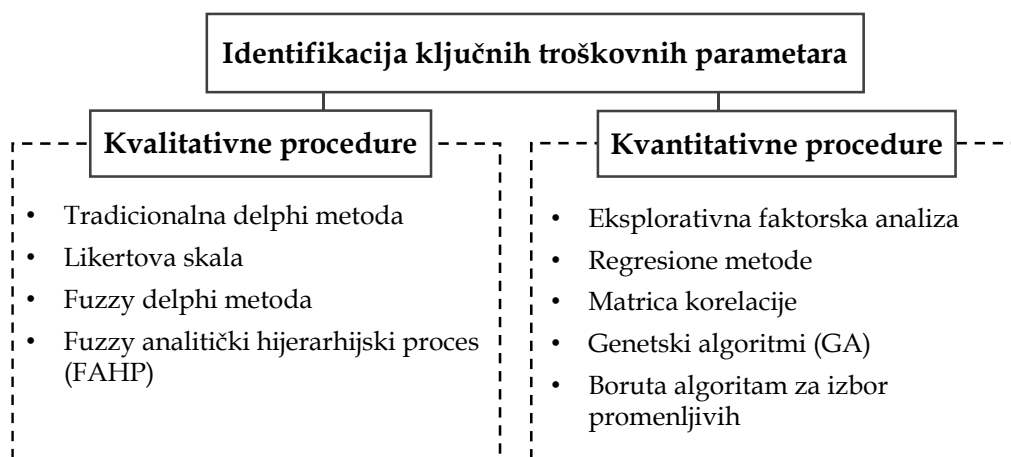
2.4.1 Pristupi za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara

Kao najbitniji korak u procesu procene troškova izdvaja se određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara na kojima će se zasnivati budući model za procenu troškova. Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara predstavlja kritičnu fazu u okviru procesa procene troškova od koje zavisi tačnost procene troškova.

Loš izbor troškovnih parametara može dovesti do loših performansi modela za procenu troškova. Ali, sa druge strane, optimalni izbor parametara dovodi do visokih performansi modela uz mali napor i manji broj potrebnih ulaznih parametara (Elmousalami, 2020). Dakle, pored toga što u velikoj meri utiče na tačnost procene troškova, izbor ključnih troškovno uticajnih parametara utiče i na količinu vremena i novca koje je potrebno uložiti kako bi se došlo do procenjene vrednosti troškova.

U postojećoj literaturi se može identifikovati veliki broj troškovnih parametara koje su autori koristili za razvoj procena troškova izgradnje putnih infrastrukturnih projekata. Ako se uzme u obzir način određivanja ključnih parametara, postojeća istraživanja bi se mogla podeliti u dve grupe. Prvu grupu bi činila istraživanja sa ograničenim brojem dostupnih podataka. Modeli za procenu troškova razvijeni u ovakvim istraživanjima se zasnivaju na troškovno uticajnim parametrima koje je moguće odrediti na osnovu raspoloživih podataka (Hegazy i Ayed, 1998; Wilmot i Cheng, 2003; Kim i ostali, 2008; Petrusheva i ostali, 2019; Tijanić i ostali, 2020).

Sa druge strane, postoje istraživanja koja se zasnivaju na većem obimu podataka i koja primenjuju različite pristupe za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara. U studiji (Elmousalami, 2020) su procedure za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara svrstane u dve grupe: kvalitativne i kvantitativne procedure (Slika 7).



Slika 7. Kvalitativne i kvantitativne procedure (Elmousalami, 2020).

Pod kvalitativnim procedurama se podrazumevaju metode zasnovane na prikupljanju percepcija i mišljenja eksperata. Sa druge strane, kvantitativne procedure zavise od prikupljenih podataka, gde se statističke metode koriste za otkrivanje obrazaca i donošenje zaključaka. (Elmousalami, 2020)

Na osnovu pregleda dosadašnje literature, Elmousalami (2020) je zaključio da je anketa najčešće korišćena metoda za identifikaciju i procenu ključnih troškovno uticajnih parametara. Pored ankete, i metoda fuzzy analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) predstavlja najzastupljeniju metodu za izbor troškovnih parametara. Takođe, kvalitativne procedure su više zastupljene od kvantitativnih procedura. Kao mogući razlog tome, autor navodi nedostupnost podataka za razmatrane slučajeve. Dodatno, sprovođenje kvalitativnih procedura, tj. prikupljanje mišljenja eksperata je jednostavniji pristup za koji nije potrebno duboko poznavanje statističkih metoda. S druge strane, kvantitativne procedure se zasnivaju na podacima i zahtevaju razumevanje i sprovođenje statističkih metoda (Elmousalami, 2020). Važno je napomenuti da navedena studija nije bila fokusirana na određeni tip građevinskih projekata, već je analiza izvršena za sve tipove građevinskih projekata uopšteno.

Kada su u pitanju putni infrastrukturni projekti, najučestalije metode za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara su anketni upitnik i metoda pokušaja i grešaka (Tabela 2). Anketni upitnici su u najvećem broju slučajeva bazirani na prikupljanju percepcija eksperata o nivou uticaja parametara na troškove, gde je inicijalnu listu parametara moguće formirati na osnovu pregleda literature ili analizom dostupnih podataka. Pored toga, mišljenja i percepcije eksperata o troškovno uticajnim parametrima su često prikupljena sprovođenjem intervjua sa ekspertima. Glavne prednosti ovih metoda jesu to što ne zahtevaju ozbiljnije proračune i što pružaju mogućnost utvrđivanja razlika u mišljenjima različitih učesnika na projektu. Međutim, njihov glavni problem može biti pristrasnost eksperata.

Sa druge strane, metoda pokušaja i grešaka je pristup koji podrazumeva više različitih eksperimenata (pokušaja) kako bi se postigao željeni ishod, gde se svaki pokušaj

prilagođava na osnovu dobijenih povratnih informacija (grešaka) sve dok se ne postigne željeni rezultat. Glavna mana ovog pristupa jeste to što može biti dugotrajan i zahtevati značajan napor (Savransky, 2000).

Tabela 2. Pregled metoda za izbor ključnih troškovno uticajnih parametara u odabranim studijama.

Izvor	Metoda	Ključni nalazi
(Kim, 2013)	AHP	Pregledom literature su identifikovani parametri korišćeni za procenu troškova izgradnje auto-puteva. Ponderisanje parametara je izvršeno primenom AHP metode.
(Pewdum i ostali, 2009)	Metoda pokušaja i grešaka	Uticajni parametri su određeni nakon eksperimentisanja sa nekoliko ANN modela.
(Elbeltagi i ostali, 2014)	Anketni upitnik	Troškovni parametri su određeni na osnovu ankete kojom je izvršeno rangiranje 18 parametara na osnovu nivoa uticaja na troškove.
(Tadesse i Dinku, 2017)	Intervjuisanje eksperata	Identifikacija ulaznih parametara izvršena je na osnovu pregleda literature i intervjuisanjem 13 eksperata.
(Gardner i ostali., 2017)	Intervjuisanje eksperata + Metoda pokušaja i grešaka	Parametri su identifikovani pregledom literature i intervjuisanjem eksperata. Konačna lista parametara je određena metodom proba i grešaka.
(Meharie i ostali, 2019)	Anketni upitnik + faktorska analiza + fuzzy AHP	Izbor odgovarajućih uticajnih promenljivih i eliminacija multikolinearnosti su izvršeni faktorskom analizom i analizom glavnih komponenti. Fuzzy AHP metoda primenjena je za određivanje težina parametara.
(Adel i ostali, 2016)	Intervjuisanje eksperata	Eksperti su bili upitani da izaberu informacije koje su dostupne u konceptualnoj fazi i da na osnovu karakteristika svakog parametra utvrde njegovu potrebu u konceptualnoj proceni troškova.
(Cirilovic i ostali, 2013)	Korelaciona analiza + Stabla odlučivanja	Iz inicijalnog skupa od 19 parametara odabrani su parametri koji su statistički značajni za procenu troškova. Stabla odlučivanja su primenjena za određivanje najinformativnijih parametara.
(Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018)	Anketni upitnik	Na osnovu pregleda literature formirana je lista od 20 troškovno uticajnih parametara za koje su ispitanici ocenjivali nivo uticaja na troškove i nivo potrebnog napora za određivanje vrednosti parametara.
(Sodikov, 2009)	Metoda pokušaja i grešaka	Izbor troškovno uticajnih parametara je bio zasnovan na uvedenom konceptu nivoa analize podataka (regionalni nivo, nivo države, nivo projekta).
(Karaca i ostali, 2020)	Anketni upitnik	Najpre je formiran spisak od 29 promenljivih od kojih su, na osnovu ankete, odabrane one promenljive koje najviše utiču na troškove, a ne zahtevaju veliki napor za njihovo prikupljanje.
(Meharie i Shaik, 2020)	Matrica korelacije	Za ukupno 8 troškovno uticajnih parametara je izvršena analiza međusobnih korelacija i utvrđeno je da ne postoji velika međusobna zavisnost među parametrima

(Mahamid, 2011)	Metoda pokušaja i grešaka	Kvantitavni parametri koji imaju značajan uticaj na ugovorenu cenu, a do njihovih vrednosti je moguće lako doći u ranim fazama projekta.
(Zhang i ostali, 2017)	Metoda pokušaja i grešaka	Iz skupa dostupnih podataka izabrani su parametri koji nisu kategorički jer bi njihova primena mogla dovesti do smanjenja performansi modela.

Identifikacijom ključnih troškovno uticajnih parametara anketiranjem eksperata su se bavili Elbeltagi i ostali (2014). Na osnovu pregleda literature, autori su izdvojili 18 najznačajnijih parametara koje su grupisali u tri kategorije: parametri specifični za projekte, parametri vezani za učesnike na projektu i parametri vezani za projektno okruženje. Anketni upitnik je formiran kako bi se navedeni parametri rangirali prema njihovom uticaju na troškove. Od ispitanika je traženo da ocene težine svakog parametra vrednostima od 0 do 100, na osnovu njihovog uticaja na troškove izgradnje auto-puteva u ranim fazama razvoja projekta. Za sve parametre je određen indeks značaja prema kome su i rangirani. Za najuticajnije parametre autori su smatrali one parametre sa indeksom značaja većim od 50%. Konačan broj parametara koji su uzeti u obzir iznosio je 11.

Al-Zwainy (2018) je pomoću anketnog upitnika istraživao najznačajnije parametre koji utiču na troškove izgradnje puteva i mostova u Iraku tako što je ispitanicima prosleđena lista od 27 troškovnih parametara za koje su, na osnovu iskustva, rangirali uticaj na troškove na skali od pet vrednosti (od nevažnog do veoma važnog).

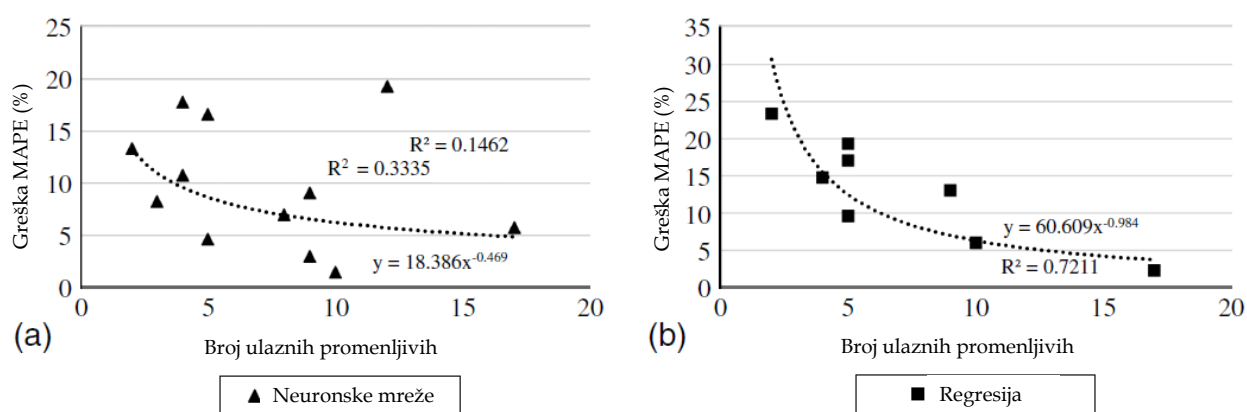
Adel i ostali (2016) su pregledom literature i intervjuisanjem 14 eksperata došli do liste najznačajnijih troškovno uticajnih parametara za konceptualnu procenu troškova izgradnje puteva. Prvobitna lista troškovnih parametara korišćenih u prethodnim studijama sadržala je 17 parametara grupisanih u tri kategorije: projektne karakteristike, karakteristike okruženja, tehničke karakteristike. Od eksperata je traženo da izaberu informacije koje su dostupne u konceptualnoj fazi i da na osnovu karakteristika svakog parametra utvrde njegovu potrebu u konceptualnoj proceni troškova.

Utvrđivanjem troškovno uticajnih parametara pomoću pregleda literature i sprovođenjem intervjua bavio se i Kim (2013). Pregledom pet, prema autorovom mišljenju, najrelevantnijih izvora na ovu temu, sačinjena je lista korišćenih parametara. Nakon toga, autor je razvijao hibridni AHP-CBR (engl. *Case Based Reasoning*) model tako što su težine parametara određene primenom AHP metode poređenjem parametara u paru.

Izbor odgovarajućih troškovno uticajnih parametara i eliminacija multikolinearnosti, u istraživanju (Meharie i ostali, 2019), su izvršeni faktorskom analizom i analizom glavnih komponenti. Fuzzy AHP metoda primenjena je za određivanje težina parametara. Odabrani su parametri koji imaju visoke koeficijente određene faktorskom analizom i visoke težine određene fuzzy AHP metodom. Definisane su tri grupe parametara i određeni su koeficijenti parametara poštujući grupu, kao i težine svake grupe i samih parametara u grupama. Pomoću Euklidske distance proračunate su udaljenosti troškovnih parametara od

idealnog parametra i na osnovu njih su rangirani parametri prema značaju. Kao najznačajnije parametri pokazali su se veličina projekta, broj mostova i stopa inflacije.

Ne postoji optimalan broj ulaznih parametara modela. Gardner i ostali (2016) su želeli da ispituju da li povećanje broja ulaznih parametara podrazumeva poboljšanje tačnosti procene troškova, pa je polazna tačka njihovog istraživanja bila analiza literature. Analizirano je ukupno 16 publikacija koje su uključivale modele za procenu troškova razvijene primenom ANN ili MRA metoda i uspostavljena je veza između srednje apsolutne procentualne greške (MAPE) (%) modela i broja ulaznih parametara.



Slika 8. Veza između greške MAPE (%) i broja ulaznih parametara (Gardner i ostali, 2016).

Sa Slike 8 se može zaključiti da se sa većim brojem ulaznih parametara smanjuje greška procene troškova, što je naročito slučaj kod modela razvijenih primenom MRA. Međutim, u analiziranim izvorima nije prikazan potreban napor za određivanje parametara, tako da se ova zavisnost ne odnosi na vezu između potrebnog napora i tačnosti procene (Gardner i ostali, 2016).

Određivanjem karakteristika troškovno uticajnih parametara i njihovog značaja za procenu troškova, moguće je redukovati broj parametara. Ji i ostali (2019) su pomoću strukture stabla integrisali veliki broj troškovnih parametara u mali broj značajnih parametara. Prema autorima, grupisanje parametara omogućava fleksibilnost modela za različite faze projekta. Iz razloga što pojedini parametri ne mogu pružati statističu značajnost jer ne mogu opisati sve karakteristike projekta, autori su uveli modifikovane parametre. Uvođenjem modifikovanih parametara poboljšana je koeficijent determinacije R^2 .

U nastavku će biti reči o tome koliki broj parametara je analiziran u prethodnim istraživanjima koji su razmatrani u ovoj disertaciji. Takođe, biće dat pregled troškovno uticajnih parametara koje su identifikovale i analizirale prethodne studije, kao i koji parametri su odabrani kao ključni troškovno uticajni parametri.

2.4.2 Pregled analiziranih troškovno uticajnih parametara putnih infrastrukturnih projekata

Kao što je ranije objašnjeno, veliki broj različitih promenljivih se može identifikovati kao troškovno uticajni parametri na kojima će se bazirati procena troškova putnih infrastrukturnih projekata.

U analiziranim istraživanjima se broj korišćenih troškovnih parametara, kao i njihova kategorizacija, razlikuju od slučaja do slučaja i ne postoji univerzalno pravilno za ova pitanja. U Tabeli 3 su prikazani načini kategorizacije troškovno uticajnih parametara u odabranim studijama.

Tabela 3. Kategorizacija troškovno uticajnih parametara u odabranim studijama.

Izvor	Broj analiziranih parametara	Kategorizacija troškovnih parametara
(Gardner i ostali, 2016)	29	Projektovanje Kolovoz Upravljanje izgradnjom
(Cirilovic i ostali, 2013)	19	Parametri vezani za cenu nafte Parametri vezani za državu Parametri vezani za projekat
(Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018)	20	Projektovanje Lokacija projekta Ostali parametri
(Adel i ostali, 2016)	17	Projekat Okruženje projekta Tehnički parametri
(Kim, 2013)	25	Vreme Troškovi Generalne informacije Materijali Struktura troškova
(Wilmot i Cheng, 2003)	11	Cene resursa Karakteristike projekta Okruženje projekta
(Li i ostali 2021)	21	Nivo aktivnosti na lokalnom tržištu izgradnje auto-puteva Opšti uslovi na građevinskom tržištu Makroekonomski pokazatelji Uslovi na tržištu energije

Pored različite kategorizacije i broja analiziranih troškovno uticajnih parametara, pregled postojećih istraživanja ukazuje i na to da se sami parametri mogu značajno razlikovati kroz različita istraživanja (Tabela 4). Uzrok različite identifikacije troškovnih parametara jesu ograničenost dostupnih podataka, ali i različiti predmeti istraživanja (klasifikacije puteva i različiti obimi radova).

Mahamid (2011) je za razvoj regresionih modela procene troškova izgradnje puteva koristio kvantitativne parametre koji imaju značajan uticaj na ugovorenu cenu, a do njihovih vrednosti je moguće lako doći u ranim fazama razvoja projekta. Kao ulazne parametre usvojio je kvantitativne vrednosti koje definišu količine najvažnijih radova i veličinu projekta (dužina i širina puta).

Peško i ostali (2017) su formirali modele za procenu troškova izgradnje gradskih saobraćajnica. Količine osnovnih materijala predstavljale su parametre za kvantifikaciju radova na izradi kolovozne konstrukcije i parternog uređenja (količina drobljenog kamena, količina ivičnjaka, količina BNS-a, količina asfalt betona i količina presovanih betonskih ploča) koji predstavljaju troškovno značajne vrste radova. Ostali radovi su uzeti u obzir na osnovu njihovog procentualnog učešća u ukupnim radovima. Pored navedenih parametara, zona realizacije radova (grad Novi Sad ili okolna naselja) i kategorija projekta (na osnovu veličine projekta) usvojeni su kao ulazni parametri za formiranje modela.

Kao troškovno uticajne parametre za razvoj modela procene troškova, Hegazy i Ayed (1998) su identifikovali parametre koji opisuju projekte auto-puteva i najviše utiču na njihove troškove. U izdvojeni skup parametara spadaju parametri koji definišu projekat: (1) tip projekta (put, most ili drugo), (2) obim projekta (izgradnja, rehabilitacija ili drugo), (3) dužina objekta (km), i (4) kapacitet (broj traka). Pored navedena četiri parametra, tu su i parametri koji definišu izvođenje radova: (5) godina u kojoj se izvode radovi, (6) godišnje doba izvođenja radova, (7) lokacija, (8) trajanje radova (meseci), (9) pojava vode u toku izvođenja radova, i (10) uslovi tla.

Zhang i ostali (2017) su istraživali efekte ekonomskih pokazatelja na konačne troškove izgradnje auto-puteva. Prilikom formiranja modela za procenu troškova istovremeno su razmatrani ekonomski parametri sa parametrima vezanim za projekat imajući u vidu uticaj ekonomskih promena na troškove izgradnje. Autori su razvili dva regresijska modela procene, metodom najmanjih kvadrata i LASSO metodom, i ocenili njihove performanse na osnovu istih pokazatelja. Kao jedan od osnovnih ekonomskih pokazatelja, autori su usvojili indeks potrošačkih cena. Ulaganja u građevinarstvu su usvojena kao pokazatelj ukupnog obima izvedenih radova.

Tabela 4. Troškovno uticajni parametri analizirani u odabranim studijama.

Izvor	Tip projekata i region	Troškovni parametri
(Mahamid, 2011)	Projekti izgradnje puteva u Palestini	Količina zemljanih radova Količina nosećeg sloja Površina kolovozne konstrukcije Količina kamenog ivičnjaka Količina betona za potporni zid Količina betona za trotoar Količina radova na obeležavanju puta Dužina puta Širina puta

(Sodikov, 2009)	Države u razvoju (baza podataka Svetske banke, tzv. Sistem znanja o troškovima puteva (ROCKS))	Bruto domaći proizvod Tempo rada po površini Debljina kolovoza Tip terena Klima Tip projekta
(Tijanić i ostali, 2020)	Putevi različitog tipa i različitog obima radova realizovani u Hrvatskoj	Obim projekta Tip projekta Dužina puta Širina puta Ugovoreno trajanje radova Ugovoreni troškovi Stvarni troškovi
(Cirilović i ostali, 2013)	Projekti rekonstrukcije i rehabilitacije puteva iz 14 država Evrope i Centralne Azije	Bruto domaći proizvod Klimatski uslovi Procenat lokalnih ponuđača Nivo korupcije Cena sirove nafte Da li je država izvoznik/ uvoznik nafte Cena dizel goriva po litru
(Adel i ostali, 2016)	Projekti održavanja i nove izgradnje puteva u Egiptu	Obim projekta Trajanje projekta Godina izgradnje Region Dužina puta Širina puta Klasifikacija puta
(Peško i ostali, 2017)	Projekti izgradnje gradskih saobraćajnica u Srbiji (teritorija grada Novi Sad)	Količina drobljenog kamena Količina ivičnjaka Količina BNS-a Količina asfalt betona Količina presovanih betonskih ploča Pripremni radovi Zemljani radovi Drenaža Saobraćajna signalizacija Ostali radovi Zona realizacije radova Kategorija projekta (na osnovu vrednosti projekta)
(Hegazy i Aayed, 1998)	Različiti obimi radova putnih infrastrukturnih projekata realizovanih u Kanadi	Tip projekta Obim projekta Godina u kojoj se izvode radovi Godišnje doba izvođenja radova Lokacija Trajanje radova Dužina objekta Kapacitet (broj traka) Pojava vode u toku izvođenja radova Uslovi tla

(Sodikov, 2005)	Projekti izgradnje puteva u Poljskoj i na Tajlandu	Trajanje radova Širina kolovoza Širina bankine Uspon i pad terena (m/km) Količina radova na raščišćavanju terena Količina zemljanih radova Vrsta kolovoza Materijal nosećeg sloja
(Zhang i ostali, 2017)	Projekti održavanja puteva u SAD (Florida)	Broj ponuđača Ugovoreno trajanje radova Dužina puta Broj traka Ocene prethodnih izvođačevih performansi Ugovorena cena Ekonomski pokazatelji
(Kim, 2013)	Projekti izgradnje auto-puteva u Južnoj Koreji	Dužina puta Obim projekta Širina puta Tip terena Trajanje radova Broj traka Okvirni tip mosta (betonski, čelični, kombinovani) Učešće dužine mostova (%)
(Meharie i Shaik, 2020)	Projekti različitih obima radova i tipova puteva u Etiopiji	Dužina puta Broj mostova Stopa inflacije Obim projekta Tip terena Tip projekta Ugovoreno trajanje Lokacija projekta
(Mohamed i Moselhi, 2022)	Projekti izgradnje puteva, mostova i drenažnih sistema u SAD	Lokacija projekta Obim radova Tip objekta Tip projekta Dužina Broj traka Tehnička kompleksnost
(Kim i ostali, 2008)	Projekti nove izgradnje i dogradnje auto-puteva u Južnoj Koreji	Lokacija Tip projekta Tip ugovora Vreme izgradnje Dužina puta Širina puta Ukupna dužina mostova Ukupna dužina tunela

Turochy i ostali (2001) su, kao neke od najčešće korišćenih parametara za procenu troškova izgradnje auto-puteva u ranim fazama razvoja projekta u odeljenjima za saobraćaj izdvojili: dužinu i širinu puta, tip kolovoza, broj traka, broj raskrsnica, tip puta, inflaciju, zemljane

radove, raščišćavanje terena, drenažu, potporne zidove, mostove, konstrukcije, zaštitnu ogradu, osvetljenje, signalizaciju, itd.

Kao najznačajniji troškovno uticajni parametri, sa najvećim vrednostima težina prema AHP metodi, u studiji (Kim, 2013) su se pokazali: dužina puta, obim projekta, širina puta, tip terena, stvarno trajanje radova, broj traka, okvirni tip mosta, itd. Parametri su navedeni u opadajućem redu prema značaju, počev od najznačajnijeg (sa najvećom težinom dobijenom primenom AHP metode).

Al-zwainy i Aidan (2017) su troškovno uticajne parametre grupisali u tzv. objektivne i subjektivne parametre. Objektivnim troškovnim parametrima su nazvane promenljive koje imaju numeričke vrednosti, kao što su dužina puta, broj traka, godina procene itd. Subjektivni troškovni parametri jesu promenljive koje imaju deskriptivne vrednosti i njima su dodeljene numeričke vrednosti. U subjektivne parametre koje su autori uključili u razvoj modela spadaju klasa puta, tip kolovozne konstrukcije, primenjena tehnologija, vrsta drenažnog sistema i nivo opremanja.

Adel i ostali (2016) su smatrali da tip ugovora ne predstavlja relevantan parametar jer se za puteve pretežno koriste slične forme ugovora zasnovane na jediničnim cenama. Ne preporučuje se da dužina tunela i dužina mostova budu uključene u razvoj modela jer u praksi ovi radovi predstavljaju zasebne ugovore od samih puteva. S obzirom na to su vremenski uslovi slični tokom cele godine, autori smatraju da faktor građevinske sezone ne bi trebalo uzimati u obzir. Materijal kolovoza predstavlja preovlađujući materijal kod izgradnje puteva i iz tog razlog treba da bude isključen kao parametar. Eksperti su za pojedine parametre smatrali da su sličnih karakteristika i da ih je potrebno eliminisati kako ne bi došlo do multiplikacije (klasifikacija puta, projektovana brzina, prosečan dnevni saobraćaj, broj raskrsnica i maksimalni nagib). Kao promenljivu koja će predstavljati ove parametre, a koju je potrebno uzeti u obzir, autori preporučuju klasifikaciju puta. Kao rezultat intervjuisanja eksperata, usvojeni su sledeći parametri: obim projekta, trajanje projekta, godina izgradnje, region, dužina puta, širina puta, klasifikacija puta.

Rezultati anketiranja eksperata u studiji (Al-Zwainy, 2018) su pokazali da su najuticajniji troškovni parametri procentualna zastupljenost projekta u pustinji i u dolini. To znači da tip terena predstavlja promenljivu od najvećeg uticaja na troškove izgradnje puteva i mostova. Pored toga, najznačajniji parametri su i dužina kolovoza, godina formiranja procene, broj nivelisanih i denivelisanih raskrsnica, broj traka, količina zemljanih radova – iskopa po kilometru dužnom, dužina mostova, klasifikacija projekta itd.

Cirilovic i ostali (2013) su troškovno uticajne parametre grupisali u tri kategorije: parametri vezani za cenu nafte (cena sirove nafte, da li je država izvoznik/uvoznik nafte itd.), parametri vezani za državu (klimatski uslovi, stopa porasta BDP-a, nivo korupcije itd.) i parametri vezani za projekat (broj ponuđača, procenat domaćih ponuđača u odnosu na ukupan broj, dužina puta, širina trake, broj traka, tip terena itd.). Za razliku od prethodno opisanih istraživanja, autori su u obzir uzeli i parametre vezane za cenu nafte, budući da

bitumen predstavlja jedan od ključnih materijala na projektima izgradnje i održavanja puteva. Pojedini parametri su uzeti u obzir na osnovu logičnih inženjerskih pretpostavki. Npr. autori su pretpostavili da se sa većim brojem ponuđača povećava konkurentnost, što dovodi do smanjenja cene. Sa druge strane, veći udeo lokalnih ponuđača u ukupnom broju ponuđača odražava dobro stanje lokalnog građevinskog sektora, što takođe može uticati na smanjenje cene.

Mahdavian i ostali (2021) su razvijali modele za procenu troškova izgradnje puteva na osnovu internih i eksternih troškovno uticajnih parametara i poredili više linearnih i nelinearnih modela kako bi došli do modela koji pruža najveću tačnost procene. Autori su želeli da pruže sveobuhvatni pristup proceni troškova koji zalazi dublje u strukturu troškova i uzima u obzir veći broj parametara od uobičajenog broja u prethodnim istraživanjima. Listu od 69 ulaznih parametara su razvrstali u pet kategorija: društveno-ekonomska kategorija, kategorije vezane za tržište energije, građevinsko tržište, ekonomiju SAD i vremenska kategorija. U istraživanju je korišćena baza podataka Ministarstva saobraćaja u Floridi o mesečnim troškovima izgradnje puteva. Podaci su obuhvatili projekte izgradnje puteva sa četiri ili šest traka od 2001. do 2017. godine. Parametri vezani za građevinsko tržište imali su najveći uticaj na procenu troškova.

Tadesse i Dinku (2017) su se bavili problemom procene troškova izgradnje puteva u Etiopiji u konceptualnoj fazi. Za konceptualnu procenu troškova autori su identifikovali sledeće troškovno uticajne parametre: lokacija projekta, obim projekta (nova izgradnja ili dogradnja), vrsta habajućeg sloja, dužina i širina puta, godina početka gradnje, klasifikacija terena i trajanje radova. Kako bi izvršili klasifikaciju projekata, autori su razmatrali klimatske uslove i izvore četiri ključna materijala (bitumen, cement, gorivo i čelične armaturne šipke) koji utiču na vreme i troškove izgradnje. Ovi parametri su razmatrani kako bi se dokazala pretpostavka da je lokaciju izvođenja radova moguće podeliti na severni, južni, istočni, zapadni i centralni region. Uzimajući u obzir raspodelu padavina prema regionima i pozicije izvora materijala, dokazana je pretpostavka da se lokacija projekta može klasifikovati na pet navedenih regiona. Dužina puta je usvojena kao jedna od ulaznih promenljivih, ali je širina puta isključena iz razvoja modela zato što 90% prikupljenih projekata ima sličnu vrednost. Konačna lista troškovnih parametara za razvoj modela sadržala je: (1) lokaciju projekta, (2) obim projekta, (3) vrstu nosećeg sloja, (4) dužinu puta i (5) trajanje radova.

Sodikov (2005) je predložio proceduru procene troškova izgradnje puteva za zemlje u razvoju u fazi formiranja koncepcije. Za analizu su korišćeni podaci za države u razvoju iz baze podataka Svetske banke, tzv. Sistem znanja o troškovima puteva (ROCKS). Izbor uticajnih parametara je bio ograničen dostupnošću podataka iz ROCKS baze podataka. Za razvoj modela za procenu troškova izdvojeno je osam ulaznih parametara: trajanje radova, širina kolovoza, širina bankine, uspon i pad terena (m/km), količina radova na raščišćavanju terena (m²/km), količina zemljanih radova (m³/km), vrsta kolovoza i materijal nosećeg sloja. Izvršena je procena količina radova na raščišćavanju terena i

zemljanih radova po km dužnom primenom RCC (*Road Construction Cost*) modela (Tsunokawa, 1983) u zavisnosti od vrste terena i širine puta. Teren je svrstan u kategorije terena. Kategorije su definisane prema rasponima u zavisnosti od nagiba terena (m/km) i konvertovane u odgovarajuće numeričke vrednosti. Na osnovu navedenih raspona generisani su slučajni brojevi sa pravilom normalne raspodele za svaki tip terena.

Cilj istraživanja koje su sprovedi Wilmot i Cheng (2003) bio je da se na osnovu što većeg broja relevantnih parametara razvije model za procenu troškova na osnovu kvantitativnih istorijskih podataka, koji bi procenjivao buduće ukupne troškove izgradnje auto-puteva na godišnjem nivou. Model je namenjen proceni uticaja budućih alternativnih uslova na troškove izgradnje auto-puta. Razvijeni model predstavlja kompozitni model zasnovan na pet podmodela procene troškova nadominantnijih oblasti u izgradnji auto-puteva. Dominantne oblasti određene su na osnovu istorijskih podataka i na osnovu njih su razvijenu podmodeli za procenu troškova: iskop i nasip, betonski kolovoz, asfaltni kolovoz, armaturni čelik i konstruktivni beton. Za svaku oblast razvijen je podmodel procene troškova odgovarajuće reprezentujuće pozicije. Procene troškova vršene su na osnovu indeksa cena za radnu snagu, materijal i mehanizaciju u oblasti građevinarstva, promenljivih dostupnih iz istorijskih podataka i tzv. surogat promenljivih. Autori su zaključili da je nedostajuće parametre moguće predstaviti pomoću surogat promenljivih. Sve promenljive koje su uzete u obzir pri razvoju modela su svrstane u tri grupe: podaci o ulaznim troškovima, promenljive koje opisuju karakteristike ugovora i promenljive koje opisuju ugovorno okruženje.

Li i ostali (2021) su moguće parametre grupisali u četiri kategorije: (1) promenljive koje predstavljaju nivo aktivnosti na lokalnom tržištu izgradnje auto-puteva; (2) promenljive koje predstavljaju opšte uslove na građevinskom tržištu; (3) promenljive koje predstavljaju makroekonomske pokazatelje; i (4) promenljive koje predstavljaju uslove na tržištu energije. Prvu grupu čine parametri kao što su broj projekata i njihova vrednost na mesečnom nivou i prosečan broj ponuđača po ugovoru prethodnog meseca na državnom nivou. U drugoj grupi su parametri koji opisuju i prate promene cena radne snage, materijala i mehanizacije, kao i druge pokazatelje poslovanja u građevinarstvu. Parametri iz treće grupe definišu indekse prosečnih promena cena sirove nafte, benzina, dizel goriva i proizvoda od čelika, dok četvrta grupa parametara predstavlja prosečne maloprodajne cene različitih vrsta energenata. Autori su primenom Grejndžerovog testa uzročnosti identifikovali četiri glavna faktora rizika koji mogu pomoći boljem razumevanju odstupanja između procena troškova investitora i izvođača. Zaključak je da na odstupanje najviše utiču ukupno stanje građevinskog tržišta, konkurentnost (broj ponuđača po ugovoru) i indeks prosečnih promena cena proizvoda od čelika.

Na Slici 9 su prikazani najzastupljeniji troškovno uticajni parametri u analiziranim studijama. Kao najznačajniji parametri izdvajaju se geometrijske karakteristike puta, odnosno dužina i širina puta. Širina puta se u pojedinim istraživanjima prikazuje i kao broj saobraćajnih traka. Za njima slede obim projekta (nova izgradnja, rekonstrukcija ili

rehabilitacija) i tip projekta (klasifikacija puta). Takođe, parametri koji su se pokazali kao značajni za troškove izgradnje auto-puteva jesu i topografija terena i godina ugovaranja.



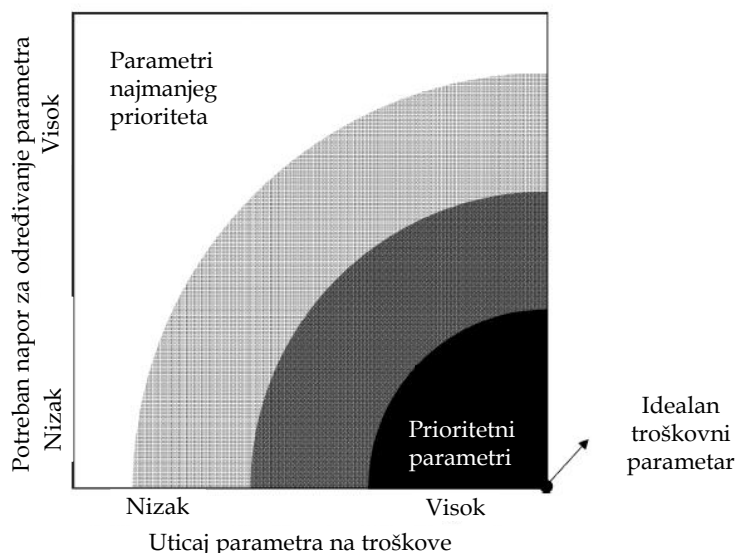
Slika 9. Najzastupljeniji troškovno uticajni parametri u analiziranim studijama.

Analizom postojeće literature je uočeno da je fokus prethodnih istraživanja u najvećoj meri bio usmeren na procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata na osnovu troškovnih parametara koji definišu karakteristike projekata (npr. dužina i širina puta, obim radova itd.), a da je manji broj istraživanja razmatrao karakteristike okruženja projekata (npr. društveno-ekonomsko stanje u državi).

2.4.3 Ograničenja postojećih pristupa

Najveći broj analiziranih studija je ključne troškovno uticajne parametre određivao na osnovu nivoa uticaja parametara na troškove sa ciljem postizanja maksimalne moguće tačnosti predviđanja troškova. Veoma mali broj istraživanja je ključne parametre određivao uzimajući u obzir i potreban nivo napora za određivanje vrednosti parametara. U nastavku su predstavljene ove studije i njihovi rezultati.

Gardner i ostali (2016) su intervjuisanjem eksperata i pregledom literature identifikovali 29 troškovno uticajnih parametara vezanih za projekte održavanja puteva, a koje su svrstali u tri kategorije: kolovoz (informacije o predloženoj lokaciji projekta), projekat (parametri definisani tokom procesa projektovanja), upravljanje izgradnjom (parametri vezani za izvođenje radova). Na osnovu rezultata anketiranja 33 ispitanika zaposlena na strani investitora, autori su odabrali prioritete parametre, gde se pod idealnim troškovnim parametrom podrazumeva parametar koja ima najviši uticaj na troškove i zahteva najmanji napor za njegovo određivanje (Slika 10).



Slika 10. Preferencije za izbor ulaznih promenljivih (Gardner i ostali, 2016).

Mahalakshmi i Rajasekaran (2018) su na osnovu pregleda literature formirali listu od 20 troškovno uticajnih parametara. Lista od 20 parametara prosleđena je ispitanicima u formi anketnog upitnika gde su ispitanici odgovarali na tri pitanja: u kojoj fazi projekta su poznate vrednosti navedenih parametara, koliki napor je potreban da bi se ustanovile vrednosti parametara i koliki uticaj svaki od parametara ima na troškove. Na osnovu 25 prikupljenih odgovora, konačna lista sadržala je 10 parametara (klasifikacija puta, topografija, vrsta kolovozne konstrukcije, uslovi tla, iskop ili nasip, dužina kolovoza, širina, debljina kolovoza, broj propusta i trajanje radova).

U studiji (Karaca i ostali, 2020), autori su prvobitno formirali spisak troškovnih parametara koji se odnose na projekte rehabilitacije i rekonstrukcije puteva i mostova. Na osnovu anketiranja eksperata zaposlenih u investitorskoj kompaniji, iz liste su odabrani oni parametri koji najviše utiču na troškove, a ne zahtevaju veliki napor za njihovo određivanje.

Samo tri navedena istraživanja na temu procene troškova putnih infrastrukturnih projekata su određivalja ključne troškovno uticajne parametre uzimajući u obzir nivo uticaja parametara na troškove i nivo napora potrebnog za određivanje vrednosti parametara. Međutim, navedene studije imaju par ograničenja. Pre svega, istraživanja su bazirana na relativnom malom broju odgovora anketnog upitnika - 31 ispitanik (Gardner i ostali, 2016) i 25 ispitanika (Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018).

Potom, u navedenim studijama koja su bazirana na empirijskom istraživanju, se ne razmatraju percepcije izvođača radova u vezi sa ključnim troškovnim parametrima, već samo percepcije investitora. S obzirom na prethodno opisane neizvesnosti i rizike koji prate procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, razmatranje i poređenje stavova ključnih učesnika na projektu bi moglo biti veoma značajno. Za prikupljanje informacija o percepcijama različitih zainteresovanih strana, u postojećim istraživanjima se anketni upitnik pokazao kao veoma pogodno sredstvo (Xie i ostali., 2022; Memon i ostali, 2012).

Na primer, sprovedena anketa u studiji (Hatamleh i ostali., 2018) imala je za cilj da se (1) identifikuju faktori koji utiču na procenu troškova, (1) rangiraju faktori na osnovu nivoa njihovog uticaja na procenu, (3) ispituju saglasnosti percepcija ispitanika (izvođača i stručnog nadzora) o nivou uticaja faktora, i (4) izvrši poređenje 10 prvorangiranih faktora sa drugim istraživanjima. Faktori su identifikovani pregledom literature i kroz dva kruga intervjuisanja eksperata formirana je lista od 27 faktora koji su grupisani u tri kategorije: faktori vezani za stručni nadzor i izvođača, faktori vezani za uslove tržišta (spoljašnji faktori) i faktori vezani za karakteristike projekta. Nakon statističke obrade podataka, izdvojeno je 10 prvorangiranih faktora, od koji je 5 bilo zajedničko za obe grupe ispitanika. Ono što je zanimljivo, jeste da autori navode da se ovih 10 faktora pojavljuju i u prethodnim istraživanjima, ali su u njima drugačije rangirani. Iz navedenog je proistekao zaključak da faktori imaju drugačiji uticaj na procenu troškova na različitim područjima i u različitim državama.

Zatim, Dolo (2011) je istraživao percepcije različitih zainteresovanih strana uključenih u čitav životni ciklus projekta o faktorima koji utiču na procenu troškova tako što je sprovodio strukturirane intervjuje. Strukturirani intervjui su sprovedeni sa šest eksperata koji su radili kao glavni izvođač radova, investitor, finansijer ili stručni nadzor. Iako obiluje širokim spektrom projektnih uloga ispitanika, studija nije mogla da pruži dublji uvid u percepcije zainteresovanih strana jer je obuhvatila 13 ključnih faktora koji su univerzalni i nisu povezani sa specifičnom vrstom građevinskih projekata.

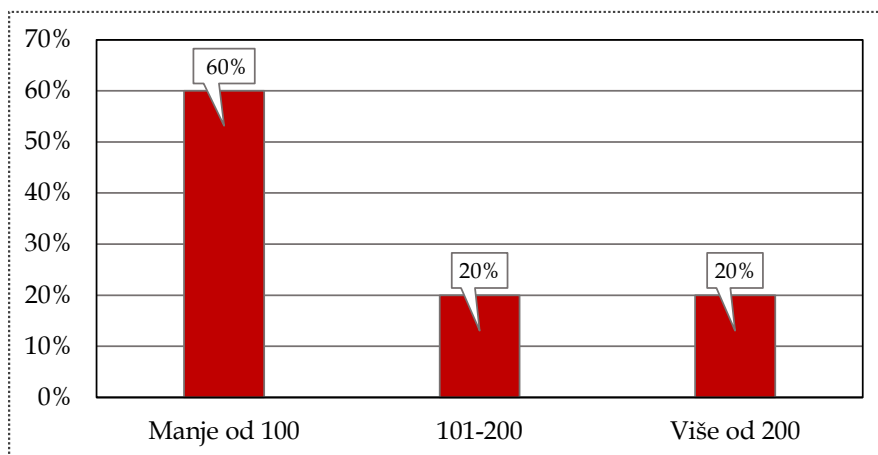
2.5 Pristupi za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata

Postoji veliki broj razvijenih pristupa za preliminarne procene troškova za različite tipove građevinskih projekata. Ovi pristupi se mogu značajno razlikovati od slučaja do slučaja i biti veoma rudimentarni ili veoma kompleksni (Garcia de Soto, 2014).

Problemom procene troškova putnih infrastrukturnih projekata se bave brojni autori već duži niz godina. Kako bi se sagledali postojeći pristupi za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata i analizirali njihovi osnovni elementi, svojstva i tehnike, izvršen je pregled dostupne literature. Kao izvor literature su korišćene baze podataka *Web of Science*, *Scopus* i *ASCE Library*.

2.5.1 Metode za razvoj modela za procenu troškova

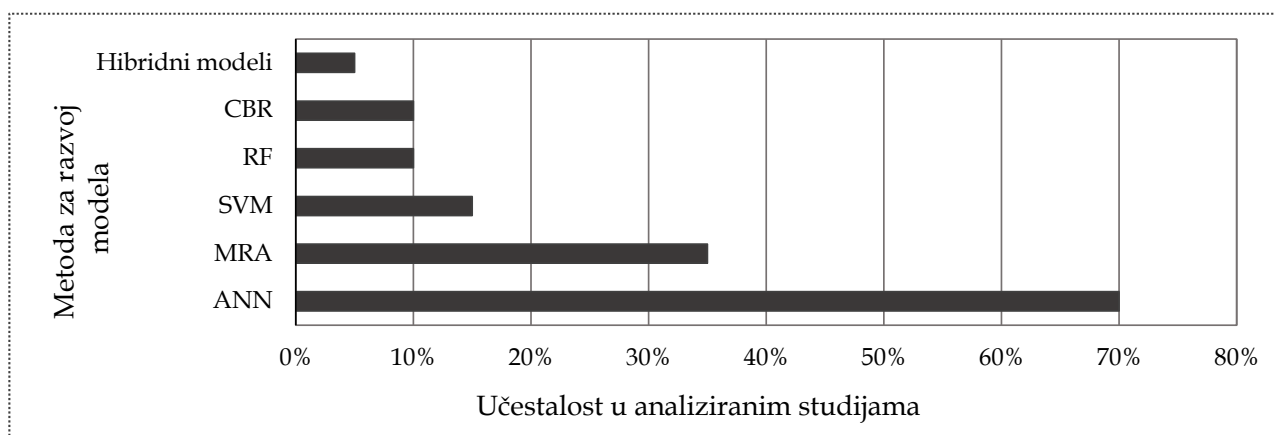
Veliki broj metoda se može koristiti za razvoj modela za procenu troškova, a često se izbor odgovarajućih metoda zasniva na obimu raspoloživih podataka za analizu. Analizirane studije su uključivale različite obime podataka, ali najveći broj studija (60%) se zasnivao na manje od 100 instanci (projekata) u bazi podataka (Slika 11). U 20% studija je broj instanci bio između 101 i 200 projekata, a preostalih 20% studija je koristilo više od 200 projekata. Najobimniji skup podataka u analiziranim studijama podrazumeva 2827 instanci (projekata izgradnje puteva i mostova) u Luizijani (Wilmot i Cheng, 2003).



Slika 11. Obim podataka u analiziranim studijama.

Autori koriste mnoge metode za razvoj modela za procenu troškova. Hashemi i ostali (2020) su zaključili da je za razvoj modela za procenu troškova projekata izgradnje auto-puteva u 55% slučajeva korišćena metoda ANN, a u 18% slučajeva je korišćena MRA. S druge strane, He i ostali (2021) su došli do zaključka da je najčešće primenjena metoda za razvoj modela za procenu troškova u građevinarstvu regresiona analiza, a da za njom slede ANN i CBR. Takođe, i Elmousalami (2020) je izvršio pregled postojećih metoda za razvoj modela za procenu troškova u građevinarstvu i zaključio da najzastupljenije metode jesu metoda ANN i hibridni modeli koji podrazumevaju kombinacije različitih metoda. Može se zaključiti da zastupljenost metoda zavisi od skupa analiziranih istraživanja, ali da svakako ANN i MRA metode spadaju u najzastupljenije metode za razvoj modela za procenu troškova.

U istraživanjima koji su analizirani u ovoj disertaciji nešto je drugačija zastupljenost metoda za razvoj modela za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata. Na Slici 12 je prikazana učestalost korišćenih metoda. Svakako, najučestalija metoda je ANN, koja se koristi u 70% analiziranih studija. Za njom sledi MRA koja je korišćena u 35% analiziranih istraživanja, dok su preostale metode (SVM, RF i CBR), kao i hibridni modeli, ređe primenjeni.

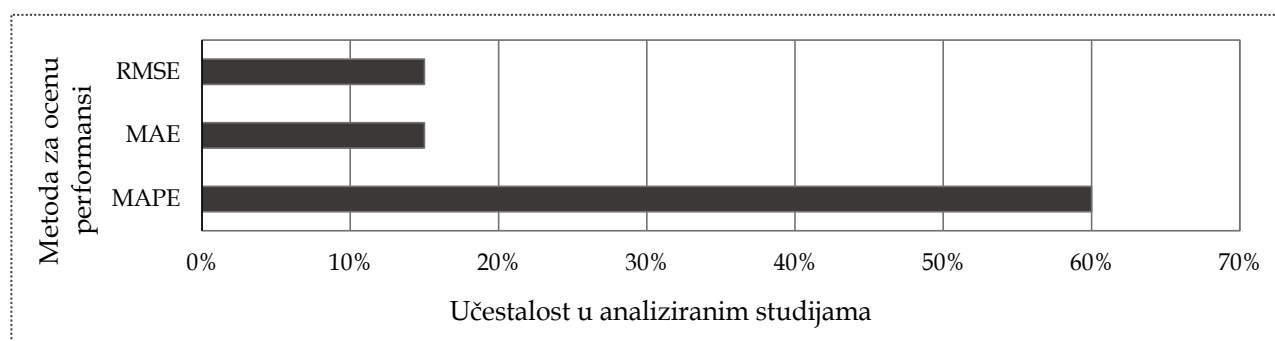


Slika 12. Metode za razvoj modela u analiziranim studijama.

2.5.2 Ocena performansi modela za procenu troškova

Različite metrike se koriste za ocenu performansi (tačnosti) modela, ali i za međusobno poređenje i izbor odgovarajućeg modela iz skupa modela. Kao što je istaknuto, modeli za procenu troškova mogu biti razvijeni primenom različitih metoda. Iz tog razloga, potrebno je definisati metrike za ocenu performansi modela i izbor modela sa najboljim performansama za buduće procene.

Na Slici 13 je prikazana učestalost primene tri različite metrike za ocenu performansi u analiziranim studijama: koren srednje kvadratne greške (RMSE), srednja apsolutna greška (MAE) i srednja apsolutna procentualna greška (MAPE).



Slika 13. Metode za ocenu performansi modela u analiziranim studijama.

Iako se veliki broj različitih metrika može koristiti za izbor modela iz skupa modela, nijedna metrika ne obezbeđuje nedvosmislen indikator tačnosti modela (Garcia de Soto, 2014; Armstrong, 1985). Analizom literature je utvrđeno da neka istraživanja koriste više od jedne metrike, pri čemu je MAPE najzastupljenija sa učestalošću od 60%.

2.5.3 Pregled postojećih pristupa za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata

Herbsman (1986) se bavio procenom troškova izgradnje auto-puteva i razvojem matematičkih podmodela za različite vrste radova i kompozitnog modela koji objedinjuje prethodno formirane podmodele. Ovako formiran model korisniku daje mogućnost da se, u zavisnosti od svojih potreba, bavi samo određenom vrstom radova ili celokupnim obimom posla. Za svaki podmodel izvršena je analiza strukture troškova (radna snaga, materijal i mehanizacija) po pozicijama rada i određene su relativne težine. Prilikom formiranja kompozitnog modela analizirani su samo elementi čije je učešće u ukupnim troškovima veće od 3%. Za svaki od elemenata određen je odgovarajući indikator koji definiše njihovu cenu. Ovi indikatori predstavljaju indekse cena za radnu snagu, mehanizaciju i različite vrste materijala. Nakon testiranja kompozitnog modela na istorijskim podacima, autor je zaključio da navedeni indikatori nisu dovoljni za precizno predviđanje troškova i da je potrebno uključiti i druge faktore kao što su stopa nezaposlenosti, kamatne stope itd.

Jedno od prvih istraživanja na temu procene troškova građenja auto-puteva jeste i istraživanje koje su sprovedi Hegazy i Ayed (1998). U svom istraživanju, autori su razvijali parametarski model za procenu troškova izgradnje auto-puteva na osnovu istorijskih podataka sa 18 projekata realizovanih na teritoriji Kanade. Analizom dostupnih podataka autori su identifikovali deset najznačajnijih parametara koji opisuju projekte auto-puteva i utiču na njihove troškove. Ovi troškovni parametri vezani su za veličinu i lokaciju projekta, kao i za godinu izgradnje. Ciljna izlazna promenljiva modela predstavlja ukupno koštanje projekta. Parametarski model je razvijan primenom ANN, a za određivanje optimalnih težina korišćene su tri metode: backpropagation, simpleks optimizacija i optimizacija primenom genetskih algoritama, od kojih su se prve dve metode pokazale kao najpogodnije za predmetnu studiju slučaja.

Williams (2002) je procenjivao konačne troškove na osnovu tenderske dokumentacije za 302 projekta izgradnje i rekonstrukcije auto-puteva. Baza podataka je za svaki projekat uključivala podatke o svim dostavljenim ukupnim ponudama, finalnim troškovima projekta i njegovom očekivanom trajanju. Autorov osnovni cilj bio je ocena uticaja niske ponuđene cene i drugih dostavljenih ponuda na konačne troškove završenog projekta. Iz tog razloga, kao jedne od ulaznih promenljivih usvojene su standardna devijacija dostavljenih ponuda i ukupan broj ponuda. Kao rezultat, pokazalo se da ovi podaci ne pružaju dodatne informacije o konačnim troškovima.

Wilmot i Mei (2005) su se, pored razvoja kompozitnih modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva primenom regresionih metoda, bavili i razvojem predikcionih modela primenom veštačkih neuronskih mreža. Osnovni cilj ovog istraživanja bio je ispitivanje da li je moguće postići bolje performanse ANN modela u odnosu na MRA model većom fleksibilnošću veza između ulaznih i izlaznih promenljivih. Analizirajući različite opcije, došlo se do zaključka da su uopšteno najbolji rezultati postignuti sa pet neurona u skrivenom sloju, a rezultati dobijeni primenom ANN pokazali su veću tačnost od prethodnih rezultata dobijenih primenom MRA. Istorijski podaci koji su korišćeni u studiji uključivali su podatke o auto-putevima i mostovima. Model je primenjen i za predviđanje promena budućih ukupnih troškova izgradnje auto-puteva na osnovu predviđanja ulaznih vrednosti za pojedine podmodele i predviđena stopa porasta troškova iznosila je približno 3,4% godišnje.

Najveća prednost modela zasnovanih na proceni količina jeste to što je moguće razdvojiti neizvesnosti vezane za količinu od neizvesnosti vezanih za cene (Chou i ostali, 2006). Mali broj istraživanja se bavio proučavanjem poznatih parametara u fazi planiranja koji bi uticali na buduće količine pojedinih pozicija projekata auto-puteva koji se realizuju na različitim lokacijama. Autori su razvili sistem za procenu troškova zasnovan na proceni količina pojedinačnih pozicija na osnovu informacija poznatih u ranim fazama projekta. Glavni motiv za pristup proceni količina pojedinačnih pozicija umesto procene na nivou projekta je povećanje tačnosti razdvajanjem jediničnih cena od procene količina. Procene količina su razvijane za troškovno najznačajnije pozicije iz WBS-a (68 pozicija nosi 80% troškova na

osnovu istorijskih podataka). Korišćeni podaci obuhvatili su 2222 projekta Ministarstva saobraćaja u Teksasu. Za svaku poziciju razvijen je statistički parametarski model za predviđanje količina. Razvijeni modeli integrisani su u model procene troškova kako bi se procenili troškovi pojedinih pozicija i ukupni troškovi projekta (Chou i ostali, 2006).

Kim i ostali (2008) su razvili dvofazni model za ranu procenu troškova izgradnje auto-puteva. Prva faza procene vezana je za fazu planiranja. Na osnovu dostupnih podataka za fazu planiranja, identifikovano je osam troškovno uticajnih parametara: lokacija, tip projekta (nova izgradnja/dogradnja), tip ugovora, vreme izgradnje, dužina puta, širina puta, ukupna dužina mostova i ukupna dužina tunela. Navedenih osam parametara predstavljali su osnovu za primenu metode zaključivanja na osnovu slučajeva (CBR). Model je pokazao prosečnu tačnost od 18,4%. Druga faza razvoja modela vezana je za fazu idejnog projekta i zahteva veću preciznost procene troškova kako bi se uporedile izvodljivosti svake alternativne trase. Model zasnovan na proceni količina je primenjen na troškovno značajne radove, a procenjene količine su kasnije množene sa jediničnim cenama, s tim što su iz istraživanja isključene procene količina za mostove i tunele. Za izdvojene vrste radova (zemljani radovi, odvodnjavanje i kolovozna konstrukcija) procena količina je vršena na osnovu parametara koji predstavljaju karakteristike projekta, a koje su identifikovane primenom CART metode (Classification and Regression Trees). Autori predlažu da bi dodatne metode za procenu mostova i tunela pružile dublje sagledavanje procene troškova izgradnje puteva.

Sodikov (2009) navodi da je većina istraživanja o procenama troškova u ranim fazama razvoja projekta bazirana na projektima u razvijenim zemljama, a samo nekolicina na projektima iz zemalja u razvoju, pa je osnovni cilj ovog istraživanja bio fokusiran na procenu jediničnih troškova za zemlje u razvoju. Kako bi se uskladila svrha modela sa dostupnošću podataka, uvedeni su nivoi analize podataka: regionalni nivo, nivo države i nivo projekta. Izbor troškovnih parametara zavisio je od nivoa analize. Za regionalni nivo to su: širina kolovoza, tip projekta, region, bruto domaći proizvod (GDP) po glavi stanovnika, gustina putne mreže, prosečan godišnji nivo padavina, dužina obale po površini. Za nivo države usvojeni su slični parametri uz dodatak parametara kao što su tempo rada po površini (trajanje radova podeljeno sa površinom kolovoza) i vrsta izvođača, što omogućava detaljniju procenu u pogledu vremena završetka projekta i izvođača. Na nivou projekta dodati su parametri koji detaljnije opisuju karakteristike projekta (klima, uslovi terena itd.). Na regionalnom nivou su MRA i ANN modeli pokazali slične performanse. Model zasnovan na ANN je na nivou države imao veću preciznost od MRA modela, dok su se zbog suženog skupa podataka, na nivou projekta odstupanja dodatno uvećala.

Cilj istraživanja (Pewdum i ostali, 2009) jeste razvoj model za procenu konačnih troškova i trajanja projekta u fazi izvođenja radova. Razvijeni model pružio bi bolje rezultate u praćenju realizacije radova. Za analizu su korišćeni projekti sa Tajlanda, a rezultati dobijeni upotrebom ANN upoređeni su sa rezultatima dobijenim primenom metode zarađene vrednosti, što predstavlja ustaljenu praksu na Tajlandu. Baza podataka obuhvata izveštaje

o napretku radova za projekte realizovane između 2002. i 2007. godine. Nakon eksperimentisanja sa nekoliko ANN modela, ustanovljeno je da u velikoj meri na konačni budžet utiču: obim saobraćaja, topografija, vremenski uslovi, datum procene (dan od početka realizacije radova), trajanje ugovora, budžet projekta, planirani procenat izvršenja i stvarni procenat izvršenja radova. Rezultati procene su pokazali veliko slaganje sa stvarnim rezultatima projekta sa greškom MAPE od 2,56%. Izvršeno je poređenje rezultata predloženog modela sa rezultatima postojeće procedure za praćenje realizacije projekta zasnovane na metodi zarađene vrednosti i ANN model je pokazao veću preciznost. Sa napredovanjem projekta, uvećavala se preciznost modela.

Studija (Asmar i ostali, 2011) opisuje statistički pristup za razvoj pouzdane konceptualne procene troškova koja je zasnovana na mnogim pretpostavkama. Razvijena metodologija je zasnovana na istorijskim podacima sa čitavih koridora, a ne posmatrajući svaki projekat zasebno. Baza je formirana na osnovu podataka sa 14 koridora koji obuhvataju 77 projekata. Troškovi koridora svrstani su u tri kategorije: glavne komponente (zemljani radovi, kolovozna konstrukcija, itd.), dodatne komponente (odvodnjavanje, zaštita od erozije, osvetljenje, itd.), i konstrukcije. Troškovi dodatnih komponenti su sračunati na osnovu procentualnog učešća u odnosu na glavne komponente, posmatrajući minimalne, prosečne i maksimalne vrednosti primenom tehnike slične PERT metodi.

Mahamid (2011) je razvio deset modela za procenu troškova u ranim fazama projekta koristeći tehniku višestruke regresije, u funkciji količina radova i veličine projekta (dužina i širina puta). Osnovna izlazna promenljiva razvijenih modela bila je procena ukupnih troškova. Modeli procene troškova su razvijeni na osnovu prikupljenih podataka sa 131 projekta u Palestini. Svi projekti su grupisani prema veličini projekta i godini ugovaranja radova i revalorizovani na istu godinu. Srednja apsolutna procentualna greška (MAPE) razvijenih modela kreće se u rasponu od 13,3 do 29,2%.

Kim (2013) se bavio razvojem hibridnog sistema za procenu troškova izgradnje auto-puteva u Južnoj Koreji. Baza podataka korišćena za razvoj sistema je uključivala projekte koji su završeni od 1996. do 2008. godine. Iz tog razloga, bilo je potrebno sve podatke o troškovima svesti na isti referentni vremenski trenutak. Podaci su konvertovani na maj 2005. godine koristeći indekse troškova za puteve definisane od strane Korejskog instituta za građevinsku tehnologiju. Pregledom literature i intervjuisanjem eksperata došlo se do liste od 24 troškovna parametra koji su značajni za procenu troškova. Autor je u studiji primenio AHP metodu kako bi odredio težine kategorija i pojedinačnih atributa poređenjem u paru. Modeliranje procene troškova je izvršeno primenom CBR metode, a ocena performansi pomoću srednje apsolutne greške (MAE) je dostigla vrednost od 9,17%.

Cirilovic i ostali (2013) su koristili studiju slučaja sa 200 projekata Svetske banke iz 14 zemalja Evrope i Centralne Azije. Od pomenutih 200 projekata, 94 su se odnosila na rehabilitaciju i rekonstrukciju puteva. Ciljne izlazne promenljive razvijenih modela bili su stvarni troškovi rekonstrukcije i rehabilitacije puteva za put sa dve trake (širine 7 m, usvojen kao ekvivalent) i jedinični troškovi asfalt betona po m³. Modeli su razvijeni primenom MRA

i ANN. Stabla klasifikacije su korišćena kao međukorak za identifikaciju troškovnih parametara koji su bitni za razvoj modela, ali su izostavljeni u ranim fazama razvoja jer nijedna od dve primenjene metode ne pruža rešenje za nedostajuće podatke. U radu su predložena dva modela za procenu troškova rekonstrukcije i rehabilitacije puteva (MRA i ANN). Modeli razvijeni pomoću veštačke inteligencije (ANN) pokazali su veću tačnost u odnosu na modele razvijene primenom MRA.

Elbeltagi i ostali (2014) su razvijali konceptualnu procenu troškova izgradnje auto-puteva koristeći veštačke neuronske mreže na osnovu projekata realizovanih od 2001. do 2005. godine u Libiji. ANN model je sadržao 11 ulaznih neurona i jedan izlazni neuron – jedinične troškove izgradnje auto-puteva po kvadratnom metru. Dvoslojni model, koji je sadržao 5 i 30 neurona respektivno, je nakon validacije pokazao grešku MAPE od 2,86%, što znači da su veze u okviru podataka za treniranje dobro uočene.

Gardner i ostali (2017) su razvili stohastičku procenu troškova koja, za razliku od većine prethodnih, determinističkih procena, pruža opseg u kom se nalazi procenjena vrednost. Autori smatraju da stohastički pristup proceni troškova umanjuje uticaj pristrasnosti i optimizma na procenu troškova i povećava transparentnost. Takođe, autori navode da stohastičke metode bolje obuhvataju neizvesnosti u ranim fazama razvoja projekta kada su one prisutne u velikom broju. Rizici i neizvesnosti se kod konkretnih, tačkastih procena obično obuhvataju kao procent od ukupnih, procenjenih troškova. Takvim pristupom se greške u proceni troškova odražavaju i na greške u proceni neizvesnosti, što dovodi do dupliranja grešaka. U istraživanju su razvijeni modeli procene primenom ANN na osnovu 17 troškovno uticajnih parametara, prethodno identifikovanih pregledom literature i intervjuisanjem eksperata. Razvijen je tačkasti model procene i, njegovim daljim razvojem, model koji prikazuje cenu u opsegu. Srednja apsolutna procentualna greška (MAPE) za tačkastu procenu iznosila je 23%.

Peško i ostali (2017) su analizirali projekte rekonstrukcije gradskih saobraćajnica realizovane na teritoriji Grada Novog Sada od 2005. do 2012. godine. Autori su razvili modele za procenu troškova sa stanovišta izvođača radova (ponuđena cena), na nivou konceptualne procene troškova, kao i modele za procenu trajanja radova. Konačan broj projekata za analizu i razvoj modela je iznosio 166. Modeli za procenu troškova su razvijeni primenom ANN i SVM. Modeli su razvijani primenom različitih kombinacija ulaznih troškovno uticajnih parametara i ocenjena je njihova tačnost. Za procenu troškova su razvijena četiri ANN modela i dva SVM modela. Srednja apsolutna procentualna greška ANN modela za procenu troškova kreće se od 25% do 40%, dok kod SVM modela ona iznosi 7 do 15%.

Al-zwainy i Aidan (2017) su razvili modele za procenu troškova izgradnje puteva na osnovu 11 tzv. objektivnih i subjektivnih promenljivih. Objektivnim promenljivim autori nazivaju promenljive koje imaju numeričke vrednosti, a pod subjektivnim promenljivim autori smatraju promenljive koje imaju kvalitativne vrednosti. Kvalitativnim promenljivim dodeljene su numeričke vrednosti (npr. fleksibilnoj kolovoznoj konstrukciji dodeljena je

vrednost 1, a krutoj 2). Predloženi model razvijen je metodom veštačkih neuronski mreža i ima grešku MAPE 6,81%.

Mahalakshmi i Rajasekaran (2018) su najpre istraživali troškovno uticajne parametre na osnovu kojih je dalje razvijan ANN model za procenu troškova. Iz pregleda literature je proistekla lista od 17 troškovno uticajnih parametara. Na osnovu 25 prikupljenih odgovora anketnog upitnika, formirana je konačna lista za trening ANN modela koja je sadržala 10 parametara. Razvoj i validacija modela su izvršeni na osnovu 52 projekta. Tačnost razvijenog modela iznosila je 95,2%.

Uzimajući u obzir uticaj lokacije projekta i topografije terena na troškove, određeni broj istraživača je za procenu ukupnih troškova izgradnje auto-puteva ili njegovih pojedinačnih pozicija primenjivao i geografske informacione sisteme (GIS). Le i ostali (2019) su razvili okvir za procenu i vizuelizaciju jediničnih cena pojediničanih pozicija zasnovan na geografskim informacionim sistemima (GIS) i istorijskim podacima o jediničnim cenama. Studija koristi istorijske podatke o ponudama projekata kolovoznih konstrukcija od asfaltnih mešavina proizvedenih vrućim postupkom i od asfalt betona. Autori u istraživanju ukazuju na veliki uticaj lokacije projekta na jedinične cene. Oni su najpre identifikovali glavne pozicije radova, a zatim analizirali lokaciju projekta i njen uticaj na jedinične cene pozicija. Koristeći različite metode prostorne interpolacije, autori su formirali okvir za vizuelizaciju pomoću kojeg je moguće kvantifikovati efekte lokacije projekta na procenu jediničnih cena. Takođe, istražena je i veza između količina i jediničnih cena. Ovako razvijen okvir korisnici mogu upotrebljavati kako bi formirali mape za vizuelizaciju pojedinačnih pozicija koje bi ekspertima pružile brzu i pouzdanu procenu troškova. Poznavanjem lokacije budućeg projekta, moguće je doći do procenjene jedinične cene klikom na lokaciju na mapi.

Osnovni cilj istraživanja (Petrusheva i ostali, 2019) jeste razvoj različitih hibridnih modela za procenu troškova zasnovanih na kombinacijama različitih tehnika, kako bi se identifikovao model sa najboljom preciznošću procene. Za analizu je korišćena baza podataka za 49 putnih objekata u Hrvatskoj. U bazu podataka su uključene 32 deonice i 17 konstrukcija (tuneli, mostovi, podvožnjaci, nadvožnjaci, ...). Baza obuhvata podatke o ugovorenim i stvarnim troškovima, ugovorenom i stvarnom vremenu realizacije, tipu objekta i godini izgradnje. Modeli su razvijeni na bazi tri dostupna ulazna parametra: ugovoreni troškovi i ugovoreno i stvarno vreme realizacije, a kao ciljna izlazna promenljiva uzeti su stvarni troškovi izgradnje. Primenom DTREG softvera određen je relativni značaj ulaznih promenljivih, gde je ugovorenim troškovima dodeljena vrednost 100, ugovorenom vremenu 0,164, a stvarnom vremenu realizacije 0,147. Kao najprecizniji model pokazao se model razvijen primenom SVM i Bromilow TCM metoda.

U istraživanju koje su sprovedeli Kwon i Kang (2019) je razvijena metoda procene troškova koja uključuje procenu rezervi za identifikovane i neidentifikovane rizike. Autori navode da su se prethodna istraživanja bavila procenom budžetskih rezervi, ali samo za identifikovane rizike. Pregledom literature su istraženi osnovni uzroci prekoračenja

troškova i izdvojena su dva osnovna uzroka. Prvi su upravljački faktori vezani za primenu propisa i regulativa, metode ugovora i politička pitanja. Drugi uzrok jesu neprecizne procene troškova koje proističu iz neizvesnosti, neprepoznatih i neočekivanih događaja. Autori ističu da procena troškova predstavlja izazov za onog koji upravlja projektom zbog nemogućnosti da se predvidi veličina uticaja na rezultate projekta ni kada će se taj uticaj dogoditi. U radu su definisane dve vrste rezervi: rezerve za nepredviđene slučajeve za identifikovane rizike i tzv. upravljačke rezerve za neidentifikovane rizike.

Prikupljena baza podataka u studiji (Tijanić i ostali, 2020) je uključivala 57 deonica puteva različitog tipa (auto-put, regionalni put, itd.) i različitog obima radova (izgradnja, rekonstrukcija, itd.). Kvalitativnim troškovnim parametrima su dodeljene numeričke vrednosti, gde su npr. auto-put i nova izgradnja dobili vrednost 5, a neklasifikovan put i popravka vrednost 1. Prvi razvijeni ANN model zasnovan na šest ulaznih parametara je pokazao visoku grešku, pa su naredne iteracije uključivale normalizaciju podataka, svođenje ciljne izlazne promenljive sa ukupnih troškova na jedinične troškove po dužnom metru puta i sužavanje skupa ulaznih parametara sa šest na četiri. U ovom radu, kao optimalni ANN model pokazao se model opšte regresione neuronske mreže zasnovan na četiri ulazne promenljive (dužina puta, širina puta, ugovoreno trajanje radova, ugovoreni troškovi) čija je ciljna zavisna promenljiva jedinični troškovi izgradnje puteva po metru dužnom. Ovako razvijen model dao je srednju apsolutnu procentualnu grešku (MAPE) od 13,06%.

Meharie i Shaik (2020) su poredili performanse tri grupe modela razvijenih primenom metoda veštačkih neuronskih mreža (ANN), slučajne šume (RF) i potpornih vektora (SVM). Modeli su razvijeni na bazi projekata različitih obima radova i tipova puteva u Etiopiji. Poređenje performansi različitih modela je izvršeno na osnovu korena srednje kvadratne greške (RMSE). Rezultati su pokazali da RF (engl. *Random Forest*) model pruža za 18,8% i 23,4% preciznije procene troškova od modela razvijenih primenom SVM i ANN.

U studiji (Mohamed i Moselhi, 2022) je razvijen pristup za konceptualnu procenu troškova i trajanja radova koristeći podatke sa projekata izgradnje puteva, mostova i drenažnih sistema u SAD i ansambla modela mašinskog učenja (ML). Ansambl ML modela je kreiran kombinovanjem ANN, SVM i RF. Analiza performansi i poređenje modela je izvršeno primenom MAPE, a najbolje rezultate su pokazali *voting* i *stacking* ansambl modela sa greškom 4,3% i 4,5%. Kada se uporede ANN, SVM i RF modeli, model razvijen pomoću ANN je pružio najveću tačnost, sa greškom MAPE=14,2%.

U Tabeli 5 je dat sumarni pregled performansi postojećih modela za procenu troškova iz odabranih studija. Nema sumnje da su postojeći pristupi pružili važan doprinos problemu procene troškova putnih infrastrukturnih projekata. Može se uočiti da su, u većini slučajeva, modeli razvijeni pomoću metoda veštačke inteligencije (AI) pružili veću tačnost predviđanja od MRA modela. Takođe, uočeno je da primena trenutnih *state-of-the-art* ML metoda još uvek nije u dovoljnoj meri testirana u primeni za razvoj modela za procenu troškova putnih infstrakturnih projekata.

Tabela 5. Performanse modela za procenu troškova u odabranim studijama.

Izvor	Tip projekata i region	Primenjena metoda	Mera tačnosti	Najbolja postignuta tačnost (greška) modela
(Mahamid, 2011)	Projekti izgradnje puteva u Palestini	MRA	MAPE	13,3-29,2%
(Karaca i ostali, 2020)	Projekti putne infrastrukture u Montani	MRA ANN	MAPE	MRA: 21% ANN: 20%
(Sodikov, 2009)	Države u razvoju (baza podataka Svetske banke, tzv. Sistem znanja o troškovima puteva (ROCKS))	MRA ANN	R ² shrinkage	MRA: 32% ANN: 13%
(Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018)	Projekti održavanja puteva u Indiji	ANN	MSE MAE MAPE	8.46%
(Tijanić i ostali, 2020)	Putevi različitog tipa i različitog obima radova realizovani u Hrvatskoj	ANN	MAPE	13,06%
(Cirilovic i ostali, 2013)	Projekti rekonstrukcije i rehabilitacije puteva iz 14 država Evrope i Centralne Azije	MRA ANN	LOO R ²	MRA: 0,580 ANN: 0,708
(Adel i ostali, 2016)	Projekti održavanja i nove izgradnje puteva u Egiptu	ANN	MAPE	16%
(Peško i ostali, 2017)	Projekti izgradnje gradskih saobraćajnica u Srbiji (teritorija grada Novog Sada)	ANN SVM	PE APE MAPE	ANN: 20,22% SVM: 7,06%
(Al-zwainy i Aidan, 2017)	Projekti izgradnje auto-puteva u Iraku	ANN	MAPE RMSE MPE	6,81%
(Gardner i ostali, 2017)	Projekti putne infrastrukture u Montani	ANN	MAPE	23%
(Sodikov, 2005)	Projekti izgradnje puteva u Poljskoj i na Tajlandu	MRA ANN	MRE MMRE	MRA: 30% ANN: 19%
(Tadesse i Dinku, 2017)	Projekti izgradnje puteva u Etiopiji	ANN	MAPE	32,58%
(Elbeltagi i ostali, 2014)	Projekti izgradnje auto-puteva u Libiji	ANN	MAPE	2,86%
(Kim, 2013)	Projekti izgradnje auto-puteva u Južnoj Koreji	CBR	MAE	9,17%
(Zhang i ostali, 2017)	Projekti održavanja puteva u SAD (Florida)	LASSO	MAE MAPE RMSE	7,6%
(Mohamed i Moselhi, 2022)	Projekti izgradnje puteva, mostova i drenažnih sistema u SAD	ANN SVM RF	MAPE	ANN: 14,2% SVM: 16,7% RF: 14,8%
(Meharie i Shaik, 2020)	Projekti različitih obima radova i tipova puteva u Etiopiji	ANN SVM RF	RMSE	ANN: 1,1802 SVM: 1,2569 RF: 0,9579

2.6 Zaključna razmatranja

U ovom poglavlju je predstavljen pregled postojeće literature na temu predmeta istraživanja opisanog u uvodnom poglavlju. Nakon pregleda literature, moguće je doneti sledeće zaključke o trenutnom stanju u domenu predmeta i problema istraživanja ove disertacije:

- Postojeći pristupi za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara su uglavnom bazirani na anketnim upitnicima koji uzimaju u obzir samo percepcije investitora o nivou uticaja parametara na troškove. Najveći broj istraživanja ne uzima u obzir percepcije izvođača radova o troškovno uticajnim parametrima i ne analizira nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost parametra odredila za konkretan projekat;
- Prethodne studije su u najvećoj meri orjentisane na analizu tehničkih karakteristika projekata kao troškovno uticajnih parametara. Čak i kada razmatraju karakteristike okruženja projekata kao moguće troškovno uticajne parametre, ograničene su na manji broj parametara koji pokazuju ekonomsko stanje u državi;
- Postojeće metodologije i pristupi za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata ne razmatraju uopšte ili u dovoljnoj meri troškovno značajne objekte u sklopu trase auto-puta. Značajni objekti u sklopu trase mogu imati veću investicionu vrednost od same trase auto-puta;
- Fokus dosadašnjih istraživanja je, pre svega, usmeren na dostizanje maksimalne moguće tačnosti procene troškova. Procene troškova u ranim fazama razvoja projekta, pored zahtevanog nivoa tačnosti, treba da pruže zadovoljavajuće rezultate za kratko vreme i uz relativno niske troškove;
- Najzastupljenije metode za razvoj modela za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata su ANN i MRA. Međutim, uočeno je da primena trenutnih *state-of-the-art* ML metoda još uvek nije u dovoljnoj meri testirana u primeni za razvoj modela za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata.

3. Metodologija

3.1 Uvod

Ovo poglavlje ukratko opisuje predloženu metodologiju za razvoj hibridnog sistema za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta. Na početku poglavlja, objašnjeni su osnovni principi koji su integrisani u metodologiju za razvoj hibridnog sistema i koji su doveli do izbora predložene metodologije. U nastavku je prikazana struktura metodologije sa kratkim opisima svake od njenih faza. Detaljna objašnjenja metodoloških faza su data u narednim poglavljima.

3.2 Primenjeni principi za izbor metodološkog pristupa

Prilikom odabira odgovarajuće metodologije za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta na umu je bilo nekoliko osnovnih principa. Objašnjenja svih principa kojima je vođen odabir odgovarajuće metodologije su data u nastavku:

1. **Učenje iz istorijskih podataka:** Zaključci o troškovima se donose na osnovu istorijskih podataka sa prethodnih projekata i poznatih informacija o budućim projektima. Predložena metodologija treba da koristi podatke o karakteristikama i cenama prethodnih projekata kako bi se procenili troškovi budućih projekata. Dakle, za donošenje zaključaka i formiranje procena troškova neophodna je baza istorijskih podataka sa prethodnih projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica.
2. **Jednostavnost:** Predloženi pristup za procenu troškova u početnim fazama razvoja projekta treba da bude lako razumljiv i jednostavan za upotrebu donosiocima odluka. Donosioci odluka često dolaze iz političkih sfera ili nemaju veliki nivo znanja o tehničkim i ekonomskim aspektima projekata.
3. **Efikasnost:** Procene troškova u početnim fazama razvoja projekta treba da pruže zadovoljavajući rezultat uz najmanje sredstava i uloženog truda, tj. zadovoljavajuća tačnost procene troškova treba da bude postignuta uz relativno niske troškove i za kratko vreme. Iz tog razloga, pored maksimizacije tačnosti, predložena metodologija treba da uzme u obzir i nivo potrebnog napora za postizanje željenih rezultata.
4. **Analiza perspektiva ključnih učesnika na projektu:** Razmatranje stavova ključnih učesnika na projektu može olakšati probleme vezane za procene troškova u početnim fazama razvoja projekta opisane u Poglavljima 1 i 2. Predložena metodologija treba da analizira perspektive investitora i izvođača radova, kao ključnih učesnika na projektu koji formiraju rane procene troškova na osnovu kojih

se donose odluke o daljem angažovanju na razradi projekta. Ovakav pristup pruža uvid u ključne troškovno uticajne parametre u skladu sa različitim perspektivama.

5. **Razmatranje troškovno značajnih objekata:** Objekti u sklopu trase auto-puta mogu imati veću investicionu vrednost od same trase. Predložena metodologija treba da uzme u obzir karakteristike troškovno značajnih objekata i time pruži mogućnost razmatranja različitih alternativnih rešenja.

3.3 Izbor metodološkog pristupa

Uzimajući u obzir definisane principe, pre svega je utvrđeno da će metodologija sadržati više međusobno povezanih komponenti koje čine jedan sistem za procenu troškova. Cilj procena troškova u početnim fazama razvoja projekta je da se postigne zadovoljavajući nivo tačnosti uz što manji nivo napora koji je potreban za njihovo određivanje (princip efikasnosti).

Navedeni cilj procene troškova podrazumeva da je prvo potrebno odrediti koji su to troškovno uticajni parametri i nivo napora koji je potrebno uložiti za određivanje vrednosti tih troškovno uticajnih parametara na kojima će se zasnivati procena troškova. Nivo napora (vremena i novca) koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost troškovno uticajnog parametra odredila za konkretni projekat je moguće odrediti merenjem potrebnog vremena i kvantifikacijom uloženog novca na prethodnim projektima. Bitan izvor informacija o potrebnom nivou napora jeste iskustvo eksperata, pa je stoga kao najprikladnija metodologija u ovom delu istraživanja usvojeno empirijsko istraživanje percepcija ključnih učesnika na projektu putem ankete. Percepcije ključnih učesnika na projektu pružaju informacije o troškovno uticajnim parametrima koji opisuju tehničke karakteristike projekta kao celine, kao i troškovno značajnih objekata, a pri tome imajući u vidu karakteristike okruženja projekta.

Sa druge strane, prethodna istraživanja su pokazala da se zadovoljavajući nivo tačnosti procene troškova u ranim fazama razvoja projekta može postići primenom različitih tehnika mašinskog učenja (Poglavlje 2 – Pregled literature). Modeli mašinskog učenja za procenu troškova se baziraju na učenju iz istorijskih podataka sa prethodnih projekata i ne zahtevaju veliki trud i nivo znanja donosioca odluka o tehničkim i ekonomskim aspektima projekata. Iz navedenih razloga, kao deo metodologije, biće primenjene tehnike mašinskog učenja.

Jedna od hipoteza ovog istraživanja je da se definisani principi i ciljevi metodološki mogu postići integrisanjem i kombinovanjem empirijskog istraživanja i mašinskog učenja. Zbog toga je predložena originalna metodologija koja podrazumeva razvoj hibridnog sistema za procenu troškova. Hibridni sistemi kombinuju više metoda u svrhu postizanja postavljenih ciljeva.

O benefitima ideje kombinovanja različitih metoda je govorio i Laplas:

„Kombinovanjem rezultata dve metode može se dobiti rezultat čiji će se zakon verovatnoće greške brže smanjivati.“

(Laplas, 1818. godine; Garcia de Soto, 2014)

Prethodna istraživanja koja kombinuju znanja eksperata sa veštačkom inteligencijom su se pokazala uspešnim. Na primer, kombinovanjem AHP metode i zaključivanja na osnovu slučajeva (CBR), Kim (2013) je razvio hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva koji koristi znanja eksperata za određivanje težinskih koeficijenata troškovnih parametara i postigao visok nivo tačnosti procene. Takođe, Ostheimer i ostali (2021) su zaključili da kombinovanje empirijskog istraživanja i mašinskog učenja, odnosno ljudske i veštačke inteligencije, u jednom hibridnom sistemu, čini primenu sistema uspešnijom.

Uzimajući u obzir ideju hibridnih sistema, navedeni principi su integrisani u predloženu metodologiju kombinovanjem znanja eksperata i tehnika mašinskog učenja. Konkretno, anketni upitnik, MRA, ANN i XGBoost metode su odabrane za razvoj hibridnog sistema za procenu troškova u početnim fazama razvoja projekta koji će pružiti zahtevanu tačnost procene troškova na sistematičan i pouzdan način uz minimalan napor.

3.4 Predložena metodologija

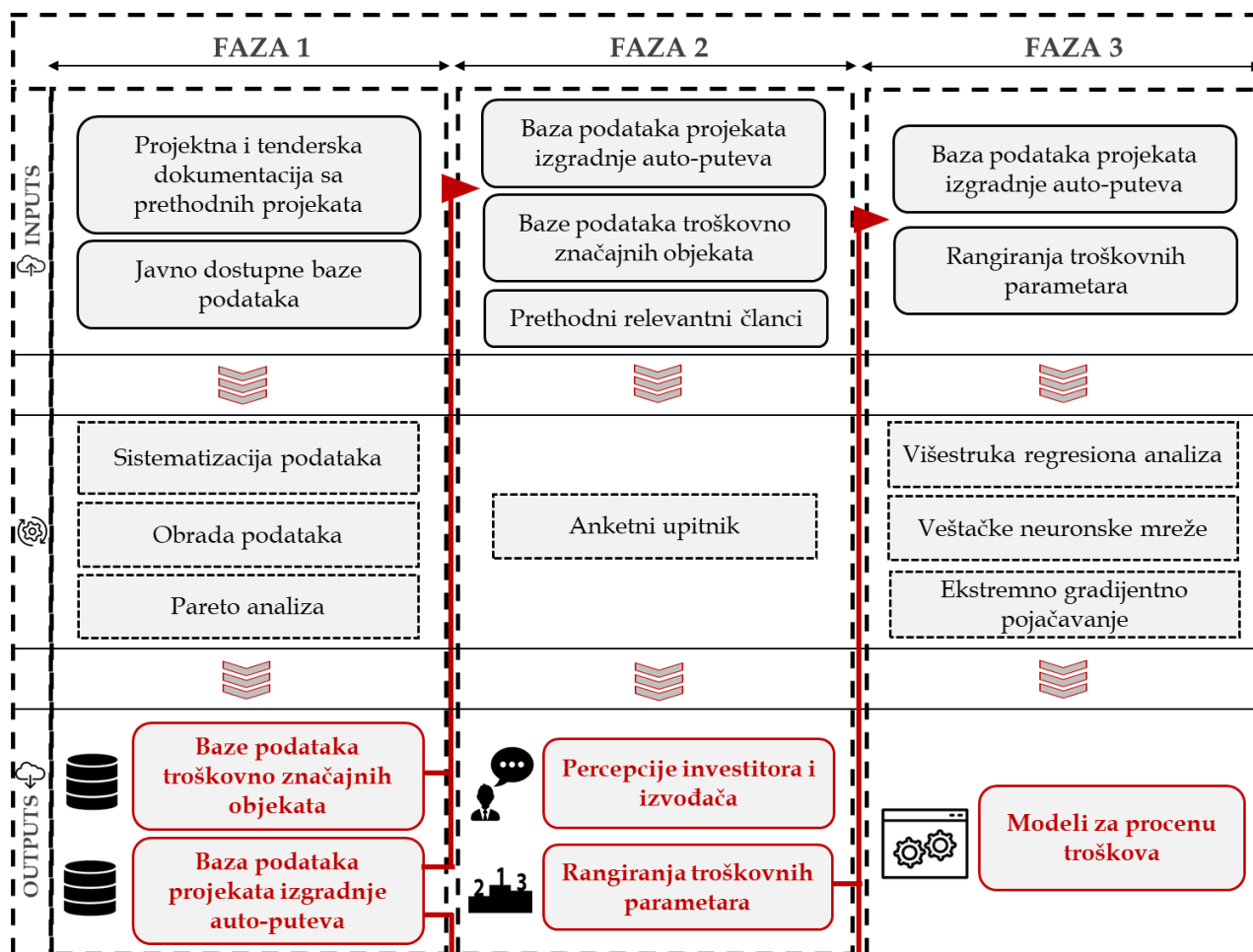
Predložena metodologija za formiranje hibridnog sistema za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta organizovana je u tri faze (komponente), kao što je prikazano na Slici 14. Sve faze predloženog sistema su međusobno povezane i izlazi (*outputs*) svake faze predstavljaju ulaze za naredne faze (*inputs*).

Svrha prve faze je prikupljanje podataka o prethodnim projektima izgradnje auto-puteva i formiranje baze istorijskih podataka. Pored glavne, sveobuhvatne, baze podataka o projektima izgradnje auto-puteva, dodatni izlaz ove faze predstavljaju baze podataka o troškovno značajnim objektima u sklopu trase auto-puta (mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice). Formirane baze podataka služe kao ulazi za drugu i za treću fazu.

Druga faza metodologije odnosi se na određivanje ključnih troškovnih parametara. Glavnu metodu u okviru metodologije u drugoj fazi istraživanja predstavlja anketni upitnik. Cilj anketnog upitnika je utvrđivanje i poređenje percepcija investitora i izvođača radova o troškovno uticajnim parametrima iz liste parametara koja je kreirana na osnovu analize baza podataka (izlazi Faze 1) i parametara koji su korišćeni u prethodnim relevantnim istraživanjima. Rezultat druge faze predstavljaju i rangiranja troškovno uticajnih parametara koja se izvode na osnovu percepcija investitora i izvođača. Rangiranja troškovnih parametara predstavljaju ulaz za poslednju, treću fazu.

U trećoj fazi se, na osnovu baze podataka projekata izgradnje auto-puteva (izlaz Faze 1) i rangiranja ključnih troškovno uticajnih parametara (izlaz Faze 2), vrši formiranje i validacija

različitih modela za procenu troškova. Za njihov razvoj se koriste tri metode: višestruka regresiona analiza, veštačke neuronske mreže i ekstremno gradijentno pojačavanje. Takođe, u ovoj fazi se vrši poređenje performansi različitih modela za procenu troškova u zavisnosti od primenjenih metoda, skupa odabranih ključnih troškovnih parametara, ali i perspektiva ključnih učesnika na projektu (investitori i izvođači) vezano za izbor tih parametara.



Slika 14. Metodologija za razvoj hibridnog sistema za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta organizovana u tri faze: FAZA 1 - Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva; FAZA 2 - Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara; FAZA 3 - Modeliranje procene troškova (Simić i ostali, 2023).

Naredna tri poglavlja opisuju tri faze u okviru metodologije za razvoj hibridnog sistema za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta i njihovi naslovi odgovaraju nazivima faza prikazanim na Slici 14.

4. Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva

4.1 Uvod

Cilj ovog dela istraživanja jeste prikupljanje dokumentacije sa prethodnih projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica, sistematizacija podataka iz prikupljene dokumentacije i, konačno, formiranje baze istorijskih podataka sa prethodnih projekata. Formirana baza istorijskih podataka biće korišćena u narednim fazama istraživanja, i to za sledeće potrebe:

- Definisane Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara (Poglavlje 5);
- Razvoj i validacija različitih modela za procenu troškova (Poglavlje 6).

Ispravno donošenje odluka u procesu upravljanja projektima u građevinarstvu se temelji na znanju i iskustvu eksperata, ali i na matematičkim modelima i različitim sistemima koji su razvijeni za te potrebe. Modeli i sistemi, među kojima su i oni za procene troškova, zasnivaju se na odgovarajućim ulaznim podacima. Za potrebe razvoja modela neophodna je pouzdana baza istorijskih podataka sa prethodnih, sličnih, projekata.

Baza podataka se može definisati kao logički koherentna zbirka podataka sa inherentnim značenjem koja predstavlja neki aspekt stvarnog sveta. Projektovana je, formirana i popunjena podacima za određenu svrhu. Drugim rečima, baza podataka ima neki izvor podataka, određeni stepen interakcije sa događajima u stvarnom svetu i korisnike koji su zainteresovani za njenu primenu. (Elmasri i Navathe, 2016)

U početnim fazama razvoja investicionih projekata, strukturirane baze podataka sa prethodnih projekata predstavljaju osnovu za donošenje zaključaka o troškovima budućih projekata. Parametarske procene troškova ili procene troškova zasnovane na istorijskim bazama podataka se naširoko koriste tokom ranih faza razvoja projekta u razvijenim zemljama (Sodikov, 2005). Međutim, zemlje u razvoju se često suočavaju sa poteškoćama pri formiranju baza podataka koje se mogu koristiti za procene troškova u početnim fazama razvoja projekta (Cirilovic i ostali, 2013). Nedostatak sistematskog prikupljanja podataka i ograničeni finansijski resursi mogu imati negativan uticaj na kvalitet baze podataka i ispravno donošenje odluka (Sodikov, 2010). Važno je istaći da prikupljanje i skladištenje istorijskih podataka iziskuje veliku količinu vremena i resursa (Gardner i ostali, 2016) i predstavlja najzahtevniju aktivnost u okviru procene troškova.

Poglavlje počinje isticanjem značaja baze istorijskih podataka koja je formirana u ovoj disertaciji. Nakon toga je opisana generalna procedura prikupljanja i sistematizacije podataka koja je rezultirala kreiranjem baze podataka. Potom su detaljno objašnjene strukture kreiranih baza podataka i opisana je Pareto analiza podataka čiji je cilj utvrđivanje troškovno značajnih grupa radova i troškovno značajnih objekata u sklopu trase auto-puta.

4.2 Baze podataka projekata izgradnje auto-puteva u Srbiji i okruženju

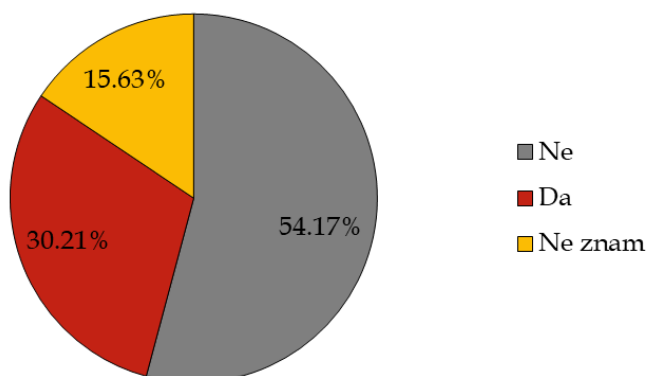
S obzirom na probleme sa formiranjem baza podataka sa kojima se suočavaju zemlje u razvoju, ispitano je stanje u vezi sa postojanjem baza podataka u kompanijama koje posluju kao investitori ili izvođači na projektima izgradnje auto-puteva u Srbiji i okruženju. Rezultati ovog dela istraživanja su istakli značaj originalne baze podataka koja je formirana u okviru ove disertacije.

Za potrebe istraživanja percepcija ključnih učesnika na projektu (investitora i izvođača) o troškovno uticajnim parametrima, sproveden je anketni upitnik (detaljno objašnjenje upitnika je dato u Poglavlju 5). Između ostalog, anketni upitnik je imao za cilj da istraži postojeću praksu procene troškova gradnje auto-puteva u kompanijama ispitanika. Ispitanici koji su učestvovali u anketnom upitniku su eksperti iz Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije i Crne Gore koji su (bili) uključeni u realizaciju projekata izgradnje auto-puteva ili brzih saobraćajnica na strani investitora ili izvođača.

U delu upitnika koji se odnosi na istraživanje postojeće prakse procene troškova, od ispitanika je, između ostalog, traženo da daju odgovor na sledeća dva pitanja koja se tiču kreiranja i značaja baza podataka:

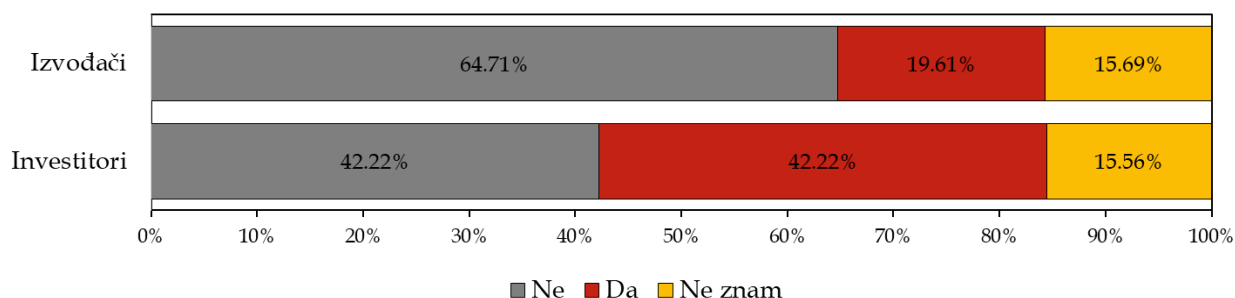
- *Da li Vaša kompanija poseduje strukturiranu bazu podataka na osnovu prethodno izvedenih projekata koja bi služila kao osnova za procenu troškova budućih projekata?*
- *Da li smatrate da bi postojanje strukturirane i redovno ažurirane baze podataka bilo korisno za procenu troškova?*

Od ukupno 96 prikupljenih odgovora, 54,17% ispitanika je odgovorilo da njihove kompanije ne poseduju baze podataka, dok je 30,21% reklo da kompanije imaju istorijske baze podataka, a 15,63% nije znalo odgovor na ovo pitanje (Slika 15).



Slika 15. Postojanje baza podataka u kompanijama ispitanika.

Na Slici 16 je prikazana distribucija odgovora o postojanju baze podataka u kompanijama ispitanika između izvođača i investitora. Sa slike se može zaključiti da investitori više vode računa od izvođača o arhiviranju istorijskih podataka i kreiranju baza podataka.



Slika 16. Postojanje baza podataka u kompanijama investitora i izvođača.

Pored navedenog, čak 95,83% ispitanika je odgovorilo da smatraju da bi postojanje strukturirane i redovno ažurirane baze podataka bilo korisno za procenu troškova.

Značaj baza istorijskih podataka za formiranje procena troškova budućih projekata istaknut je u literaturi. Ova tvrdnja je, takođe, potvrđena i mišljenjem eksperata anketiranih u sprovedenom upitniku. Rezultati ankete su pokazali da kompanije investitora i izvođača u Srbiji i okruženju ne vode u velikoj meri računa o skladištenju istorijskih podataka sa projekata i formiranju baza podataka. Iz tog razloga, jedan od značajnih doprinosa ove disertacije jeste formirana originalna baza istorijskih podataka o projektima izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica koji su ugovoreni u poslednjih 20 godina u Srbiji i regionu. Formirana baza podataka može imati širok spektar primene za uslove tržišta zemalja u razvoju, pre svega zemalja Jugoistočne Evrope.

4.3 Procedura prikupljanja i sistematizacije podataka

Prikupljanje podataka predstavlja jednu od vremenski najzahtevnijih aktivnosti u okviru procene troškova. Proces prikupljanja podataka tekao je paralelno sa pregledom literature. U literaturi postoje dostupne smernice i uputstva o načinu prikupljanja, obrade i analize podataka (National Aeronautics and Space Administration, 2015; International Society of Parametric Analysts, 2008).

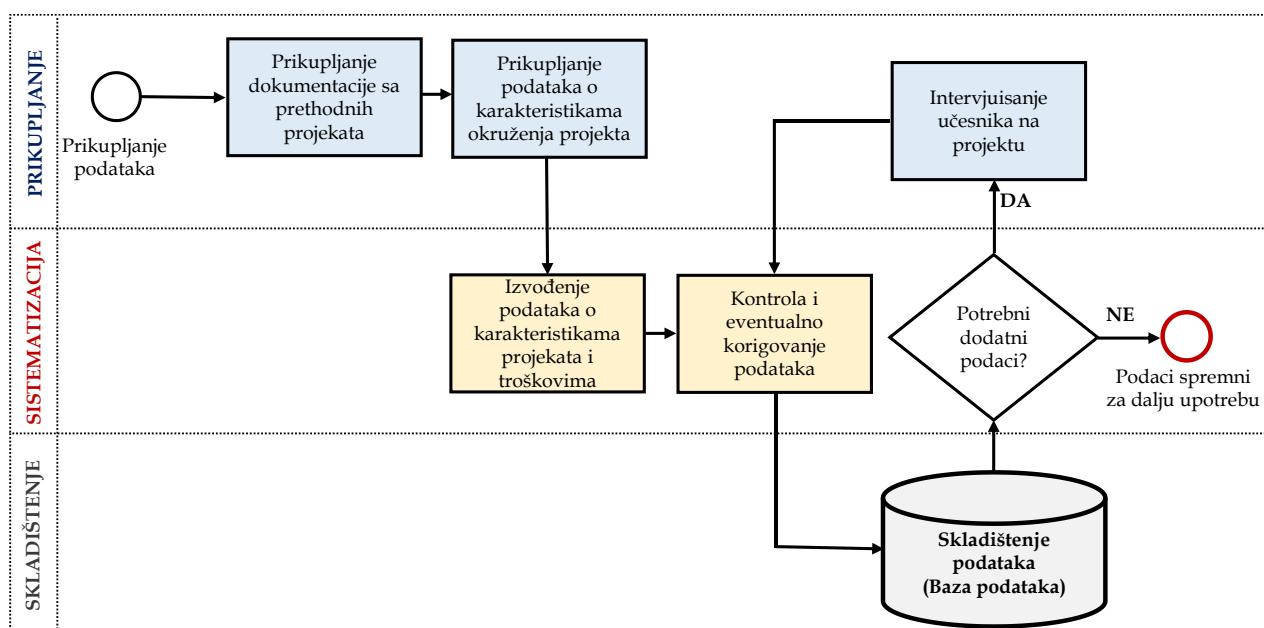
U poslednjih 20-ak godina je bila vrlo intenzivna izgradnja auto-puteva i brzih saobraćajnica u zemljama jugoistočne Evrope čime je formirana značajna mreža ovih puteva. Prema podacima iz juna 2022. godine, u Srbiji trenutno ima 937,3 km izgrađenih auto-puteva (JP Putevi Srbije, 2022). Dužina izgrađenih auto-puteva u Bosni i Hercegovini je u 2020. godini iznosila 218 km (Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine, 2022), dok trenutna dužina auto-puteva u Severnoj Makedoniji iznosi 242 km (Republic of North Macedonia Public Enterprise of State Roads, 2022). U navedenim zemljama, kao i u Crnoj Gori, trenutno su u toku radovi na izgradnji dodatnih auto-putnih pravaca i deonica. Za potrebe kreiranja baze podataka u okviru ove disertacije prikupljena je dokumentacija sa 91 projekta izgradnje

auto-puteva i brzih saobraćajnica sa teritorija Srbije, Severne Makedonije, Bosne i Hercegovine, i Crne Gore.

Dokumentacija sa projekata je prikupljena kontaktiranjem investitora, kao i projektantskih i izvođačkih firmi. Dokumentaciju koja je prikupljena čine:

- Ugovorna dokumentacija;
- Projektna (tehnička) dokumentacija.

Celokupan proces prikupljanja dokumentacije, sistematizacije, analize, pripreme i skladištenja podataka trajao je više od godinu dana. Na Slici 17 je prikazana generalna procedura koja je u ovoj disertaciji primenjena za prikupljanje i obradu podataka i kreiranje baze podataka.



Slika 17. Procedura formiranja baze podataka.

Ukupno je prikupljena dokumentacija sa 91 projekta izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica koji su ugovoreni u vremenskom razdoblju od 17 godina. Kako se postojeći neobrađeni podaci nalaze u različitim formatima, bilo ih potrebno sistematizovati i obraditi kako bi se koristili za razvoj modela za procenu troškova. Podaci o različitim karakteristikama projekata (npr. dužina deonice, broj mostova, planirano trajanje radova itd.) su izvedeni ili sračunati iz projektne i ugovorne dokumentacije. Pored podataka o karakteristikama projekata, cilj ovog dela istraživanja je bio da se prikupe i podaci o karakteristikama okruženja projekata koji bi mogli biti u korelaciji sa troškovima izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica. Osnovni cilj je bio da se uključe karakteristike čije određivanje u ranim fazama razvoja projekta ne zahteva veliki napor (Gardner i ostali, 2016), tj. njihovo određivanje ne iziskuje veliku količinu novca i vremena. Dakle, u nastojanju da se ispuni navedeni cilj, identifikovani su javno dostupni podaci o

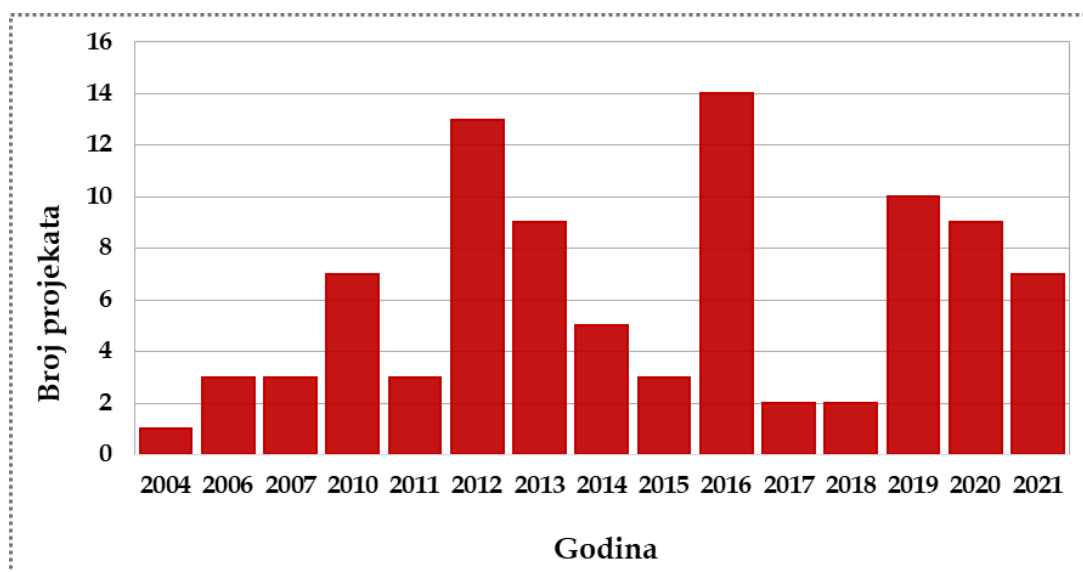
karakteristikama okruženja projekata koji mogu uticati na troškove izgradnje auto-puteva (npr. stopa nezaposlenosti, stopa rasta GDP-a, itd.).

Podaci o troškovima sistematizovani su iz ugovorne dokumentacije. Deo ugovorne dokumentacije jeste predmer i predračun radova koji sadrži detaljne podatke o ugovorenim cenama. Cene projekata su prikazane kroz ukupnu cenu radova, kao i po vrstama radova, što pruža mogućnost analize veza između troškovno uticajnih parametara i različitih vrsta radova.

Neposredno pre skladištenja podataka u bazu istorijskih podataka, vršena je kontrola i eventualno korigovanje podataka. U slučaju da je za određeni projekat utvrđeno da pojedini podaci o karakteristikama projekata nisu dostupni u prikupljenoj projektnoj ili ugovornoj dokumentaciji, ovi podaci su prikupljeni intervjuisanjem učesnika na projektu i iz sekundarnih izvora.

4.4 Struktura baze podataka

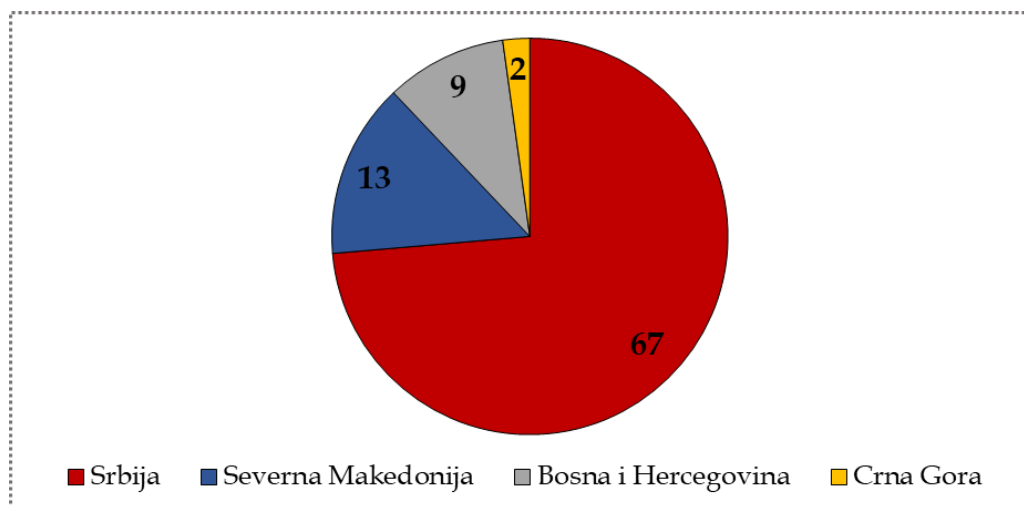
Ukupno su formirane četiri individualne baze podataka. Prva, sveobuhvatna baza podataka, sadrži detaljne podatke o karakteristikama projekata auto-puteva i brzih saobraćajnica i njihovog okruženja (npr. dužina deonice, broj petlji, projektovana brzina, vrsta tenderskog postupka, stopa nezaposlenosti itd.) i troškovima njihove izgradnje. Preostale tri baze podataka sadrže detaljne podatke o tehničkim karakteristikama troškovno značajnih objekata (videti Poglavlje 4.5) u sklopu trase auto-puta (mostovi, tuneli i petlje). Svrha kreiranja zasebnih baza podataka bila je da se omogući detaljna analiza troškovno značajnih objekata u okviru svakog projekta izgradnje auto-puta ili brzih saobraćajnica, i da se na taj način identifikuju troškovno uticajni parametri koji su vezani za svaki od navedenih objekata.



Slika 18. Ukupan broj ugovorenih projekata od 2004. do 2021. godine.

Formirane baze podataka sadrže kvantitativne i kvalitativne podatke sa realizovanih i tekućih projekata ugovorenih u periodu od septembra 2004. do septembra 2021. godine. Uzorak obuhvata ukupno 91 završen ili tekući građevinski projekat. Na Slici 18 je dat prikaz raspodele ukupnog broja prikupljenih projekata po godinama potpisivanja ugovora.

Na sledećem grafikonu (Slika 19) je prikazan broj prikupljenih projekata prema državama. Najveći broj prikupljenih projekata je sa teritorije Srbije (67 projekata). Za njom slede Severna Makedonija (13 projekata) i Bosna i Hercegovina (9 projekata), dok je najmanje projekata sa teritorije Crne Gore (2 projekta).



Slika 19. Broj prikupljenih projekata po državama.

Podaci u okviru baza podataka su svrstani u sledeće tri kategorije:

- Karakteristike projekata;
- Karakteristike okruženja projekata;
- Podaci o cenama.

4.4.1 Karakteristike projekata

Kao što se može videti iz Tabele 6, podaci o karakteristikama projekata koji su izdvojeni ili sračunati na osnovu prikupljene projektne dokumentacije i skladišteni u sveobuhvatnu bazu podataka obuhvataju detaljne podatke o tehničkim karakteristikama projekata.

Tabela 6. Karakteristike projekata sistematizovane iz projektne dokumentacije.

Vrsta radova	Tip terena	Vrsta sistema odvodnjavanja	L deonice (m)	W planuma (m)	W kolovoza (m)	L trase bez objekata (m)	Računska brzina (km/h)	KK
nova izgradnja; dogradnja	ravničarski; brežuljkast; brdovit; planinski	zatvoren; otvoren		izdvojeno iz projektne dokumentacije				
P planuma (m ²)	P kolovoza bez objekata (m ²)	Učešće otvorene trase u dužini deonice (%)	Učešće mostova u dužini deonice (%)	Učešće tunela u dužini deonice (%)	Prosečna visina nasipa na trasi (m)	Prosečna dubina iskopa na trasi (m)		

sračunato na osnovu podataka iz projektne dokumentacije

L – dužina; W – širina; P – površina; KK – kolovozna konstrukcija.

Tip terena je preuzet iz tehničkog izveštaja projekta, a definicije različitih tipova terena (ravničarski, brežuljkast, brdovit i planinski) su određene na osnovu nagiba padina i relativne visinske razlike reljefa na 1.000 m dužine i date su u Tabeli 1 u okviru drugog poglavlja (Pregled literature).

Sistem odvodnjavanja koji je primenjen u okviru određenog projekta može biti zatvorenog ili otvorenog tipa (JP Putevi Srbije, 2011), gde se voda sa kolovoza odvodi do mesta izliva pomoću zatvorenih kolektora ili otvorenim kanalima. Zatvoreni sistem odvodnjavanja podrazumeva prečišćavanje oticaja pre izlivanja. Podaci o vrsti sistema odvodnjavanja su izvedeni iz projektne dokumentacije.

Skup prikupljenih projekata sadrži projekte auto-puteva i brzih saobraćajnica čiji obimi radova podrazumevaju nove izgradnje, dogradnje, rekonstrukcije i rehabilitacije. Iz uzorka za dalju analizu su isključeni projekti čiji predmet ugovora nije izgradnja, već druge vrste radova. Prvenstveno, tu se misli na rekonstrukcije i rehabilitacije u okviru auto-puteva. Ukupan broj projekata čiji obimi radova podrazumevaju rekonstrukcije ili rehabilitacije u okviru auto-puteva je 5. Uključivanje projekata koji sadrže rekonstrukcije i rehabilitacije u dalje analize i modeliranje procene troškova bi dovelo do povećanja kompleksnosti i smanjenja tačnosti predikcije. Cilj je da se postigne što veća homogenost baze podataka na osnovu koje će se modelirati procena troškova.

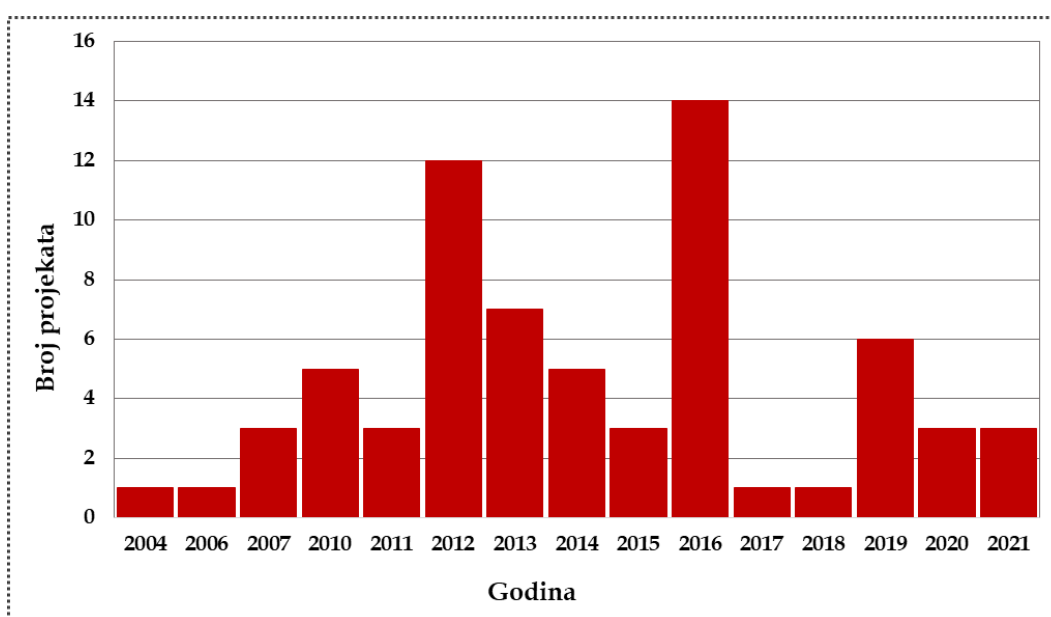
Osam ugovora je obuhvatalo izgradnju velikih objekata u sklopu trase auto-puta ili brze saobraćajnice, kao što su projekti izgradnje značajnih mostova, petlji ili tunela. Navedeni projekti su analizirani samo u svrhu utvrđivanja troškovno uticajnih parametara koji su vezani za određenu vrstu troškovno značajnog objekta.

S obzirom na to da su podaci za 10 projekata bili nepotpuni, ovi projekti su ostali izvan okvira projekata za dalju analizu. Konačan broj analiziranih projekata je 68 projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica (Tabela 7).

Tabela 7. Broj analiziranih projekata i objekata

Broj analiziranih projekata	Broj objekata		
	Mostovi	Tuneli	Petlje
68	408	30	59

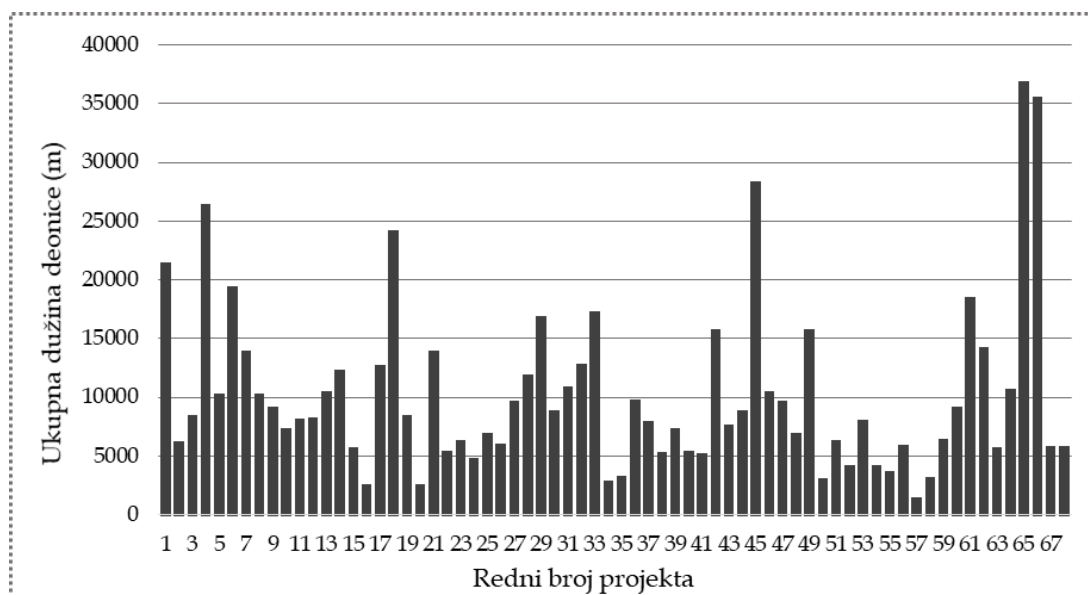
Na Slici 20 je prikazan broj analiziranih projekata iz konačnog skupa po godinama zaključivanja ugovora.



Slika 20. Broj analiziranih projekata po godinama.

Bitan podatak prilikom određivanja cene neke deonice auto-puta ili brze saobraćajnice jeste ukupna dužina deonice. Za analizirane projekte ukupne dužine deonice se kreću u rasponu od 1.259 do 36.609 metara, dok je srednja vrednost ukupne dužine deonice za sve analizirane projekte 10.081 metara. Na Slici 21 su prikazane ukupne dužine deonice po projektima za analizirani skup podataka.

Dužina trase bez objekata (dužina otvorene trase) je izvedena na osnovu grafičke dokumentacije tako što su od ukupne dužine deonice oduzete ukupna dužina mostova i ukupna dužina tunela na deonici. Takođe, kako bi se sagledala kompleksnost celokupne trase, sračunata su učešća otvorene trase, mostova i tunela u ukupnoj dužini deonice. S obzirom na to da mostovi i tuneli mogu imati veća učešća u troškovima od otvorene trase, neophodno je analizirati njihovu zastupljenost u dužini deonice prilikom procene troškova.



Slika 21. Ukupne dužine deonica po projektima izražene u metrima.

Drugi važan podatak je širina puta na deonici. Kada je reč o širini, tu se izdvajaju dva bitna podatka, širina planuma i širina kolovozne konstrukcije. S obzirom na to da baza podataka sadrži projekte izgradnje auto-puteva (koji mogu podrazumevati pun profil auto-puta ili poluprofil), ali i brzih saobraćajnica, i da su projekti realizovani pri različitim uslovima, ove širine se razlikuju od slučaja do slučaja. Prilikom sistematizacije podataka, pod širinom planuma se podrazumevala ukupna širina voznih traka, zaustavnih traka, ivičnih traka, bankina i razdelnog pojasa između dva smera. Širina planuma se kreće od 14,4 do 36 metara i ovaj podatak je važan zbog analize zemljanih radova koji su jedna od najznačajnijih vrsta radova u okviru izgradnje auto-puteva. Širina kolovozne konstrukcije obuhvatala je širine voznih, zaustavnih i ivičnih traka i kreće se u rasponu od 11 do 23 metra.

Prosečna visina nasipa na trasi i prosečna dubina iskopa sračunate su na osnovu ukupne količine nasipa ili iskopa (m³) i površine planuma (m²).

Druge informacije o karakteristikama projekata koje su sadržane u okviru sveobuhvatne baze podataka prikazane su u Tabeli 8. Navedeni podaci izvedeni su na osnovu informacija iz ugovorne dokumentacije.

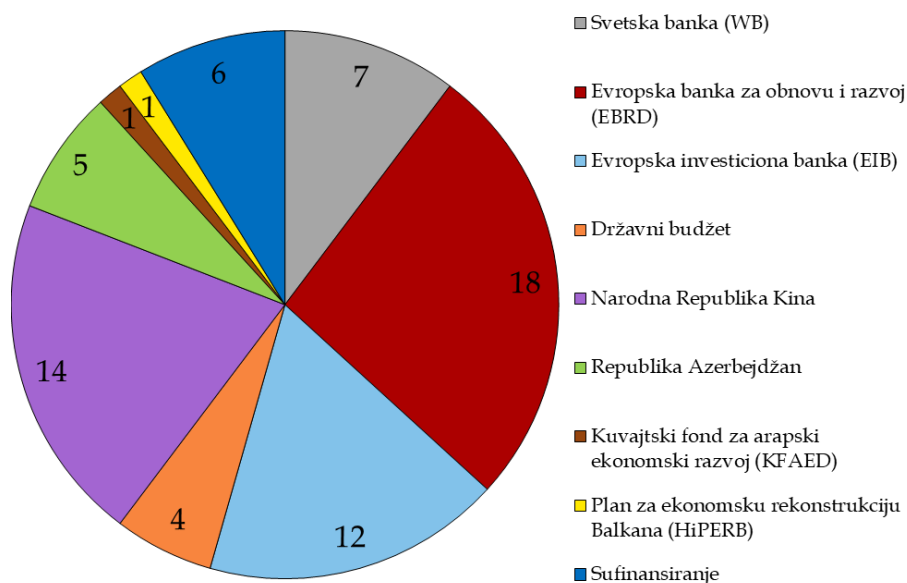
Tabela 8. Karakteristike projekata sistematizovane iz ugovorne dokumentacije.

Planirano trajanje (dani)	Planirano trajanje po površini deonice (dani/m ²)	Planirani progres radova po površini deonice (m ² /dani)	Izvor finansiranja	Godina ugovaranja	Tip ugovora	Postupak nabavke
izvedeno iz ugovorne dokumentacije			kao na Slici 22	od 2004. do 2021.	crveni FIDIC; žuti FIDIC	ICB; pregovarački

Planirano, odnosno ukupno očekivano trajanje radova za analizirane projekte se kreće od 480 do 1.440 dana, odnosno najkraće očekivano trajanje projekta je 16 meseci, a najduže 48 meseci. Prosečan planirani rok za završetak radova za analizirane projekte je 862 dana. U okviru ugovora, očekivano trajanje radova je predstavljeno u formi ukupnog broja dana za sve vrste radova na izgradnji auto-puteva i brzih saobraćajnica i nije moguće utvrditi planirana trajanja za pojedinačne vrste radova. Prilikom modeliranja procene troškova projekata putne infrastrukture u literaturi se pokazalo da je bitno razmatrati planirano trajanje radova po površini deonice, kao i planirani progres radova (Sodikov, 2009; Cirilovic i ostali, 2013).

Finansiranje projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica može biti obezbeđeno na više načina. Najveći broj projekata iz analiziranog uzorka je finansiran zajmovima i donacijama međunarodnih finansijskih institucija, kao što su Svetska banka (engl. *World Bank*, u daljem tekstu WB), Evropska banka za obnovu i razvoj (engl. *European Bank for Reconstruction and Development*, u daljem tekstu EBRD), Evropska investiciona banka (engl. *European Investment Bank*, u daljem tekstu EIB) i Evropska komisija (engl. *European Commission*). Pored toga, projekti su finansirani iz državnih budžeta, ali i iz zajmova i donacija od strane drugih institucija, kao što su na primer donacija grčke Vlade posredstvom Plana za ekonomsku rekonstrukciju Balkana (HiPERB), krediti Republike Azerbejdžan i krediti Kuvajtskog fonda za arapski ekonomski razvoj (KFAED). Značajan broj projekata finansiran je posredstvom kredita koji dolaze iz Narodne Republike Kine. Uz to, prisutni su i različiti oblici sufinansiranja od strane navedenih izvora finansiranja.

Na Slici 22 je prikazan broj projekata u zavisnosti od dominantnog izvora finansiranja. Sa grafika se može zaključiti da je najveći broj analiziranih projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica finansiran sredstvima EBRD, EIB, Narodne Republike Kine i WB.



Slika 22. Broj analiziranih projekata u zavisnosti od dominantnog izvora finansiranja.

Kada je u pitanju ugovorena vrednost radova, potrebno je razlikovati projekte koji su ugovoreni prema uslovima ugovora za izgradnju (tradicionalna ugovorna strategija) i uslovima ugovora za projektovanje i izgradnju. Ugovori su formirani u skladu sa međunarodnim standardnim formama ugovora izdatim od strane FIDIC-a (crvenim i žutim FIDIC¹ knjigama) ili sličnim ugovorima.

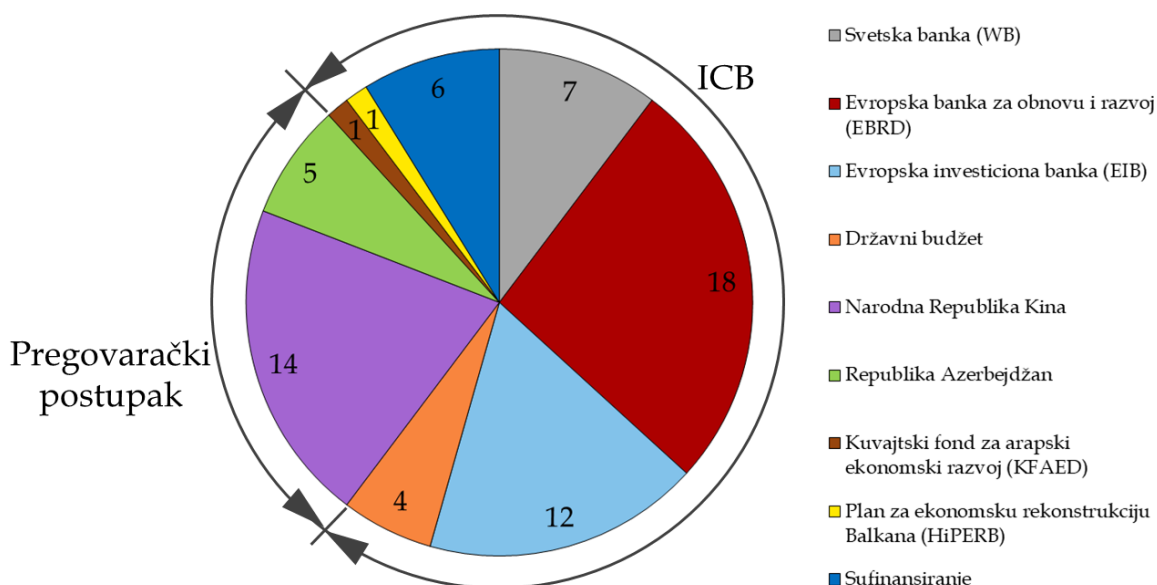
Prema uslovima ugovora za izgradnju (tzv. „crveni FIDIC“), tehničku dokumentaciju obezbeđuje Investitor, a predmet ugovora je samo izvođenje radova. Naplata posla se vrši na osnovu stvarno izvedenih količina radova i ugovorenih jediničnih cena. Predmer i predračun radova je sastavni deo tenderske dokumentacije. Prema uslovima ugovora projektuj-izgradi (tzv. „žuti FIDIC“), u nadležnosti Izvođača je projektovanje i izvođenje radova. Pre izvođenja radova, Izvođač je dužan da obezbedi tehničku dokumentaciju, a plaćanje se vrši prema ukupnoj (paušalnoj) ceni radova.

Nabavka projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica je okarakterisana kao prilično rizična (Petronijević i ostali, 2015) zbog evidentnih prekoračenja troškova i vremena (Cantarelli i ostali, 2012; Andrić i ostali, 2019; Melaku Belay i ostali, 2021). Kako bi olakšali postupak nabavke i osigurali uspešnost projekata koje finansiraju, zajmodavci (međunarodne finansijske institucije) su izdali sopstvene vodiče za sprovođenje tenderskih procedura (European Commission, 2021; European Investment Bank, 2018; The World Bank, 2014). Takođe, domaći Zakon o javnim nabavkama Republike Srbije usklađen je sa EU direktivama (Vlada Republike Srbije, 2019).

Iako su projekti finansirani od strane različitih institucija, u najvećem broju slučajeva nabavke projekata su sprovedene u skladu sa procedurama Međunarodnog konkurentskog nadmetanja (engl. *International Competitive Bidding*, u daljem tekstu ICB). Međunarodno konkurentsko nadmetanje je najčešći metod nabavke koji primenjuju zajmoprimci koji posluju u javnom sektoru. ICB je preporučila Svetska banka i osmišljen je tako da obezbedi fer nadmetanje i konkurentnost u tenderskom postupku. Jasno su definisani detaljni zahtevi i specifični uslovi koji se moraju ispoštovati tokom sprovođenja tenderske procedure. Pored ICB, skup analiziranih projekata uključuje i projekte za koje je nabavka sprovedena posredstvom pregovaračkog postupka.

U okviru konačnog skupa od 68 projekata, kod 49 projekata nabavka je sprovedena u skladu sa ICB procedurama. Preostalih 19 projekata je ugovoreno pregovaračkim postupkom. Može se zaključiti da su projekti koji su finansirani sredstvima koja dolaze iz Kine i Azerbejdžana ugovoreni pregovaračkim postupkom, a projekti finansirani od strane drugih međunarodnih finansijskih institucija su nabavljeni u skladu sa ICB procedurama (Slika 23).

¹ FIDIC (fr. *Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils*) je akronim za Međunarodnu federaciju inženjera konsultanata na francuskom jeziku (www.fidic.org).



Slika 23. Izvori finansiranja i postupak nabavke analiziranih projekata.

Karakteristike projekata sadržane u okviru preostale tri baze podataka predstavljaju tehničke karakteristike troškovno značajnih objekata (mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice) u okviru deonice auto-puta. Podaci o mostovima koji su izvedeni iz projektne dokumentacije i skladišteni u bazu podataka prikazani su u Tabeli 9.

Tabela 9. Karakteristike projekata sadržane u bazi podataka o mostovima.

Oznaka projekta	Oznaka mosta	L mosta (m)	W mosta (m)	P mosta (m ²)	L raspona (m)	H stubova (m)	Način fundiranja	Način gradnje
izvedeno iz projektne dokumentacije							duboko; plitko; kombinovano	montažni; liveni; kombinovani

L - dužina; W - širina; P - površina; H - visina.

Podaci o geometrijskim karakteristikama mostova preuzeti su iz grafičkog dela projektne dokumentacije. Pod dužinom mosta se podrazumeva srednja vrednost dužine levog i desnog mosta u okviru auto-puta. Dužina raspona mosta u kreiranoj bazi podataka predstavlja srednju vrednost dužina svih raspona u okviru jednog mosta. Takođe, i visina stubova predstavlja srednju vrednost visina svih stubova u sklopu mosta. Analizom podataka je utvrđeno da mostovi sa veoma velikim rasponima ili visinama stubova mogu značajno uticati na povećanje troškova izgradnje neke deonice auto-puta.

Baza podataka o tunelima sadrži tehničke karakteristike tunela prikazane u Tabeli 10.

Tabela 10. Karakteristike projekata sadržane u bazi podataka o tunelima.

Oznaka projekta	Oznaka (naziv) tunela	Broj tunelskih cevi	L tunela (m)	Korisna širina (m)	Slobodna visina (m)	Sastav tla	Metoda iskopa
							klasična; cut and cover; otvoreni iskop; NATM
izvedeno iz projektne dokumentacije							
L – dužina; NATM – New Austrian Tunneling Method.							

Uzimajući u obzir to da tuneli mogu podrazumevati dve odvojene tunelske cevi za dva kolovozna smeru ili samo jednu tunelsku cev za jedan smer kretanja, neophodno je razmatrati podatak o broju cevi. U skladu sa tim, dužina tunela je prikazana kao prosečna dužina dve tunelske cevi ili dužina samo jedne predviđene cevi. Ovi, ali i drugi podaci preuzeti su iz prikupljene projektne dokumentacije. Nivo anagažovanja mehanizacije na izgradnji tunela je uslovljen metodom iskopa tunela.

U bazi podataka o denivelisanim raskrsnicama (petljama) nalaze se podaci o nazivu, tipu i karakteristikama raskrsnice koji opisuju njenu kompleksnost (Tabela 11). Kompleksnost raskrsnice je uslovljena njenim tipom, a saglasno tome i objektima koji su u okviru nje sadržani, pre svega mostovima (nadvožnjacima) kojima je omogućeno denivelisano ukrštanje saobraćajnica.

Tabela 11. Karakteristike projekata sadržane u bazi podataka o denivelisanim raskrsnicama.

Oznaka projekta	Tip raskrsnice	Oznaka (naziv) raskrsnice	Broj mostova	L mostova (m)	P mostova (m ²)
	truba; dupla truba; poludetelina; detelina; kruška; dijamant				
izvedeno iz projektne dokumentacije					

Detaljne baze podataka o troškovno značajnim objektima koje su kreirane u ovoj disertaciji mogu se primeniti kao osnova za kreiranje procena troškova zasebnih objekata, ali i za druge namene u oblasti planiranja i organizacije građenja, npr. za procenu potrebnih količina materijala za izgradnju objekta. Kreiranim bazama podataka mogu se pridružiti i podaci o troškovima, ali i količinama materijala definisanim u predmerima i predračunima radova.

4.4.2 Karakteristike okruženja projekata

Pored podataka o karakteristikama projekata, za potrebe određivanja troškovno uticajnih parametara i modeliranja procene troškova, prikupljeni su i podaci o karakteristikama okruženja projekata. Kada su u pitanju karakteristike okruženja projekata, podaci koji ih opisuju mogu se pronaći u javno dostupnim bazama podataka, kao što su baze podataka državnih zavoda za statistiku ili baze podataka Svetske banke.

U Tabeli 12 prikazani su podaci o karakteristikama okruženja projekata koji opisuju društveno-ekonomsko stanje države u kojoj se projekat realizuje. Ovi podaci preuzeti su iz javno dostupnih baza podataka Svetske banke.

Tabela 12. Karakteristike okruženja projekata koje opisuju društveno-ekonomsko stanje u državi.

Stopa rasta GDP-a (%)	Stopa nezaposlenosti (%)	Nivo korupcije	Politička stabilnost	Indeks efektivnosti Vlade
--------------------------	--------------------------------	-------------------	-------------------------	---------------------------------

preuzeto iz: (World Bank, 2022; World Bank, 2022b; World Bank, 2022c)

U disertaciji je analiziran uticaj nekih od osnovnih makroekonomskih pokazatelja na troškove izgradnje auto-puteva. Cilj je bio ispitati uticaj društveno-ekonomskih uslova u državi u kojoj se projekat realizuje i u odgovarajućem vremenskom periodu na troškove izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica.

Bruto domaći proizvod (engl. *Gross Domestic Product*, u daljem tekstu GDP), kao najsveobuhvatnija mera ekonomske aktivnosti jedne države, predstavlja ukupnu tržišnu vrednost proizvedenih roba i usluga u određenom vremenskom periodu, koji najčešće iznosi godinu dana (Kragulj i Fakultet organizacionih nauka, 2016). U bazi podataka, GDP je prikazan pomoću procentualnog iznosa stope rasta ovog makroekonomskog pokazatelja u određenoj državi na godišnjem nivou.

Stopa nezaposlenosti predstavlja međunarodno utvrđen pokazatelj koji pruža uvid u stanje na tržištu rada. Podaci o stopama nezaposlenosti mogu se preuzeti iz izvora objavljenih od strane državnih zavoda za statistiku i Svetske banke. Ovakvi podaci mogu se pronaći u Anketama o radnoj snazi. Ankete su metodološki formirane u skladu sa preporukama i definicijama Međunarodne organizacije rada i zahtevima Statističkog zavoda EU (engl. *Eurostat*) čime je omogućena međudržavna uporedivost podataka (Republički zavod za statistiku Srbije, 2022; Federalni zavod za statistiku Bosne i Hercegovine, 2022; Državni zavod za statistiku Severne Makedonije, 2022; Uprava za statistiku Crne Gore, 2023).

Nivo korupcije je u bazi podataka predstavljen pomoću dva pokazatelja. Jedan je Indeks percepcije korupcije (engl. *Corruption Perceptions Index*, u daljem tekstu CPI) koji vrednuje i

rangira države i teritorije širom sveta na osnovu opaženog stepena korumpiranosti u javnom sektoru. CPI se određuje na osnovu stručnih procena i anketa, a indekse na godišnjem nivou objavljuje nevladina organizacija Transparency International (Transparency International, 2022). Poređenja indeksa iz ranijih godina sa indeksima nakon 2012. godine nisu u potpunosti moguća zbog promena u metodologiji obračuna. Metodologija za obračun Indeksa percepcije korupcije je ažurirana 2012. godine, tako da, između ostalog, podrazumeva drugačiju skalu prikazivanja rezultata – od 0 do 100 (gde je 100 najpoželjniji rezultat), za razliku od prethodne metodologije koja je rezultate prikazivala od 0 do 10 (gde je 10 najbolji rezultat). Usled metodoloških promena, a kako bi bilo moguće porediti nivoe korupcije između različitih država i u različitim vremenskim periodima, kao mera za nivo korupcije usvojena je vrednost koja prikazuje rang države u odnosu na broj rangiranih država.

Drugi pokazatelj nivoa korupcije primenjen u disertaciji je Indeks kontrole korupcije (engl. *Control of Corruption Index*, u daljem tekstu CCI), razrađen od strane Svetske banke. Navedeni indeks meri mišljenja o tome do kog se nivoa javna moć koristi za ličnu korist, uključujući korupciju malih i velikih razmera. Ovaj, kao i naredna dva indikatora, mogu se pronaći u bazi podataka Svetski indikatori upravljanja (engl. *Worldwide Governance Indicators*) (World Bank, 2022c) formiranoj od strane Svetske banke.

Političko stanje u državi može biti veliki uzročnik poremećaja troškova na javnim infrastrukturnim projektima. Na primer, Catalão i ostali (2022) su utvrdili da sprovođenje izbora u državi može dovesti do povećanja troškova. Vlade imaju tendenciju da pokrenu i završe infrastrukturne projekte neposredno pred izbore kako bi maksimizirali popularnost u javnosti i, na taj način, obezbedili glasove. Ovakve situacije dovode do smanjene kontrole procesa projektovanja, procene troškova i izvođenja radova. Sa druge strane, izbori mogu podstaći donosiocima političkih odluka o namernom potcenjivanju troškova kako bi što veći broj projekata bio pokrenut neposredno pre izbora. Pored navedenog, politički motivisani nemiri mogu takođe dovesti do troškovnih poremećaja. Navedene tvrdnje dokazane su i u drugim istraživanjima (Catalão i ostali, 2019; Flyvbjerg, 2007; Flyvbjerg i ostali, 2002).

Prilikom prikupljanja podataka o karakteristikama okruženja projekata, težilo se da podaci koji opisuju ove karakteristike budu jednostavni za prikupljanje i javno dostupni. Iz tog razloga, kao podatak koji opisuje političko stanje u državi, usvojen je indikator Svetske banke koji prikazuje političku stabilnost i odsustvo nasilja/terorizma (engl. *Political Stability and Absence of Violence/Terrorism*). Ovaj indikator odražava percepcije o tome koliko su verovatni politički nemiri i/ili politički motivisano nasilje, kao što je terorizam.

Još jedan indikator Svetske banke usvojen je kao pokazatelj društveno-ekonomskog stanja u zemlji. To je indeks efektivnosti Vlade (engl. *Government Effectiveness Index*) koji odražava percepcije o tome koliko su dobro pružene javne usluge, koliko dobro se vodi državna služba i koliko je oslobođena političkog uticaja, koliko su dobro razvijene politike i sprovedene u praksi i koliko je pouzdano pridržavanje ovih politika od strane Vlade.

Tabela 13 sadrži karakteristike okruženja projekata koje se odnose na inflaciju i promene cena različitih resursa, kao i na stanje građevinskog tržišta u zemlji u kojoj se projekat realizuje.

Tabela 13. Karakteristike okruženja projekata koje opisuju promene cena resursa i stanje građevinskog tržišta.

Indeks potrošačkih cena	Indeks cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu	Indeks cena agregata (vađenje ostalih ruda i kamena)	Indeks cena armature (proizvodnja osnovnih metala)	Indeks cena dizela (tečna goriva i maziva)	Prosečna bruto zarada u građevinarstvu	Indeks vrednosti novih ugovorenih radova	Indeks izdatih građevinskih dozvola ukupno
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--

preuzeto iz: (Republički zavod za statistiku, 2022)

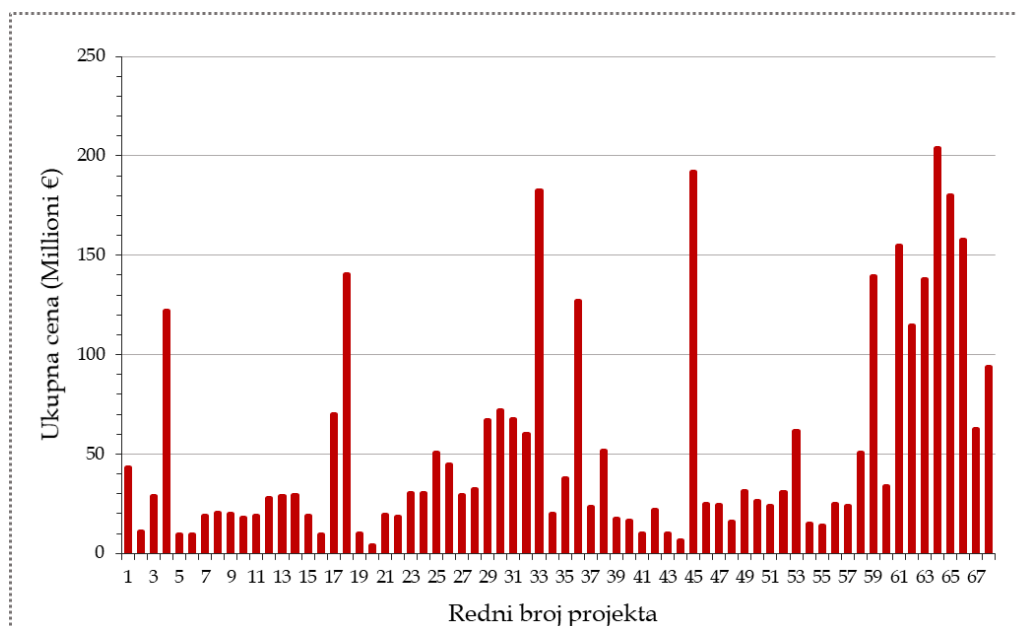
Indeks potrošačkih cena, kao mera opšte inflacije u državi, generisan je iz baza podataka državnih zavoda za statistiku. Drugi indeksi cena u okviru ove grupe podataka odražavaju promene cena ključnih materijala i radne snage u okviru projekata izgradnje auto-puteva. Većina ugovora između investitora i izvođača radova za analizirani skup projekata predviđa primenu indeksne metode klizne skale za revalorizaciju ugovorene cene radova. Indeksna metoda klizne skale podrazumeva primenu indeksa cena navedenih u Tabeli 13.

Kao pokazatelji stanja na građevinskom tržištu jedne države, usvojeni su indeksi koji prikazuju vrednost novih ugovorenih radova u zemlji u određenoj godini i broj izdatih građevinskih dozvola ukupno. Važno je istaći da su sve vrednosti indeksa u okviru baze podataka svedene na isti vremenski trenutak, odnosno bazni datum (sredina septembra 2021. godine). Detaljnije objašnjenje za revalorizaciju podataka biće dato u jednom od narednih poglavlja.

4.4.3 Podaci o cenama

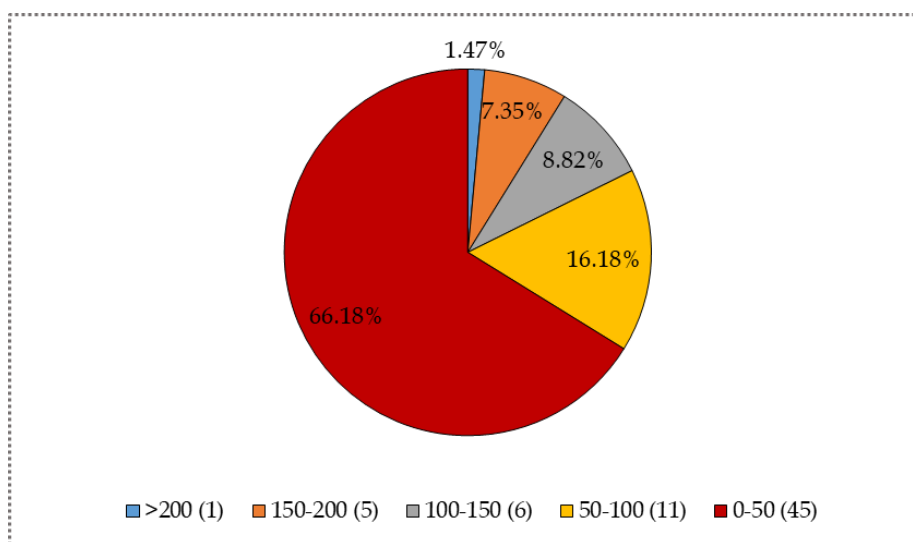
Kada je u pitanju finansijski aspekt analiziranih projekata, u analizama je razmatrana ugovorena vrednost radova bez PDV-a. Sve ugovorene vrednosti u drugim valutama su pretvorene u EUR na osnovu srednjeg kursa na datum potpisivanja ugovora. Ukupna ugovorena vrednost radova se kreće od približno 4,04 miliona EUR do 203,98 miliona EUR. Srednja ugovorena vrednost radova za analizirani uzorak podataka iznosi 52,14 miliona EUR, dok je ukupna ugovorena vrednost svih 68 analiziranih projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica 3.545.486.644,08 EUR.

Na Slici 24 je dat prikaz ukupnih ugovorenih cena za svih 68 analiziranih projekata.



Slika 24. Ugovorene cene analiziranih projekata.

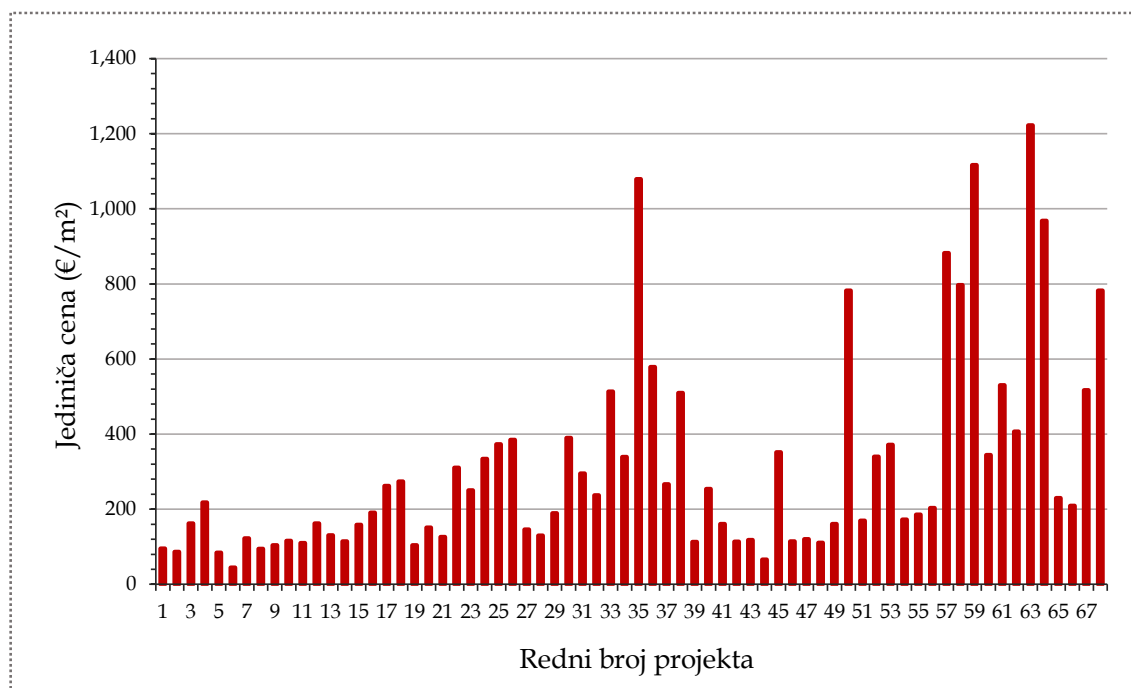
Sa Slike 25 se može zaključiti da najveći broj analiziranih projekata ima ukupnu ugovorenu vrednost do 50 miliona EUR. Ukupno 45 projekata, odnosno 66,17% od ukupnog broja analiziranih projekata ima ukupnu ugovorenu vrednost do 50 miliona EUR. Zatim, 11 projekata, odnosno 16,18%, ima ukupnu cenu radova između 50 miliona EUR i 100 miliona EUR, ukupno 11 projekata ima opseg vrednosti od 100 do 200 miliona EUR, a samo jedan projekat ima ukupnu ugovorenu vrednost radova veću od 200 miliona EUR.



Slika 25. Broj projekata prema opsegu ukupnih ugovorenih cena (EUR).

Kako bi cene različitih projekata bile jednostavnije za poređenje, sračunate su jedinične cene za sve projekte. S obzirom na to da analizirani projekti podrazumevaju različite širine, tj. u okviru skupa analiziranih projekata se nalaze projekti koji obuhvataju pun profil ili poluprofil auto-puta i brze saobraćajnice, jedinične cene projekata su sračunate po m²

površine kolovoza. Ovako određena jedinična cena radova koristiće se kao osnova za dalju analizu i za modeliranje procene troškova.



Slika 26. Jedinične cene analiziranih projekata (EUR/m²).

Na Slici 26 su prikazane jedinične cene radova po m² površine kolovoza za 68 analiziranih projekata. Jedinične ugovorene cene radova kreću se u rasponu od 44,19 EUR/m² do 1.222,3 EUR/m², dok je srednja vrednost jedinične cene radova za analizirani skup projekata 310,84 EUR/m². Važno je istaći da su na Slici 26 prikazane cene bez prethodno izvršene revalorizacije (svođenja vrednosti projekata na isti vremenski trenutak). U jednom od narednih poglavlja biće prikazan postupak revalorizacije koji je primenjen u okviru predložene metodologije.

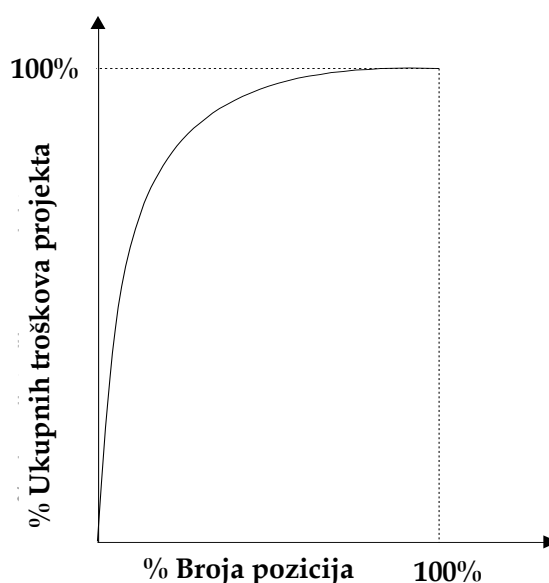
Sa Slike 26 je uočljivo da se za većinu projekata jedinične cene kreću do 600 EUR/m². Od ukupno 68 analiziranih projekata, 8 projekata ima ugovorenu jediničnu cenu radova veću od 600 EUR/m². Ukoliko se za tim ukaže potreba u kasnijim analizama, projekti sa značajnim odstupanjima jediničnih cena će biti eliminisani iz daljih razmatranja i neće se koristiti prilikom modeliranja procene troškova.

Pored podataka o ukupnoj ugovorenoj ceni između investitora i izvođača i ukupnoj jediničnoj ugovorenoj ceni, baza podataka sadrži i podatke o ukupnim i jediničnim cenama različitih vrsta radova sadržanih u okviru projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica. Podaci o cenama pojedinačnih vrsta radova preuzeti su iz predmera i predračuna radova koji su deo ugovorne dokumentacije. Poglavlje 4.5 prikazuje analizu učešća različitih vrsta radova u ukupnoj ugovorenoj ceni.

4.5 Pareto analiza podataka iz predmera i predračuna

Pareto analiza grupa radova iz predmera i predračuna je izvršena sa ciljem identifikacije troškovno značajnih grupa radova i objekata u sklopu trase auto-puta. Predmeri i predračuni radova u okviru prikupljenog skupa dokumentacije su prethodno korigovani kako bi bilo moguće njihovo međusobno poređenje. Publikovana istraživanja koja se bave procenama troškova u velikom broju slučajeva primenjuju koncept troškovno značajnih pozicija radova. Suština primene ovog koncepta jeste fokusiranje na ključne grupe i pozicije radova koji najviše doprinose sagledavanju troškova na projektu uz eliminaciju preostalih radova. Ovakav način sagledavanja troškova budućim korisnicima pruža pojednostavljene postupka procene.

Koncept troškovno značajnih pozicija radova temelji se na tzv. Pareto principu koji kaže da u većini slučajeva približno 80% posledica proističe iz 20% uzroka. Tvorac ideje je italijanski ekonomista Vilfred Pareto koji je otkrio da u nekoliko evropskih zemalja najveći deo prihoda (80%) dolazi od manjeg dela stanovništva (20%). U prvoj knjizi o Pareto principu je rečeno da ono može pomoći svakom pojedincu ili grupi da postignu mnogo više uz mnogo manje truda i ulaganja (Koch, 1998). Ovo pravilo važi u različitim sferama ljudskog delovanja, a u građevinskoj ekonomiji ono znači da mali broj pozicija iz predmera i predračuna (približno 20%) predstavlja troškovno značajne pozicije radova i definiše najveći deo ukupnih troškova na projektu (približno 80% troškova) (Slika 27).



Slika 27. Pareto princip kod procene troškova (Ivković i ostali, 2021).

Primenjeno na nekom projektu, pravilo 80:20, kako se još naziva Pareto princip, može doneti značajno pojednostavljene procesa upravljanja projektom. S obzirom na to da se svaki projekat sastoji iz većeg broja aktivnosti koje je potrebno realizovati sa ograničenim resursima, fokus menadžera projekta mora biti usmeren na nekoliko najozbiljnijih problema (Stojčetočić i ostali, 2016). U oblasti upravljanja projektima u građevinarstvu, Pareto princip

je primenjen za identifikaciju prirode mera za poboljšanje 20% faktora koji su uzročnici 80% problema sa produktivnošću na gradilištu (Serdar Durdyev, 2012), kao i za određivanje prioritetnih kritičnih faktora na koje je potrebno usmeriti fokus kako bi se povećale efikasnost i efektivnost na projektu (Moon i ostali, 2015).

Pareto princip je primenjen u više studija o procenama troškova u građevinarstvu. Na primer, Sayed i ostali (2020) su primenili Pareto princip prilikom određivanja ključnih faktora koji utiču na pouzdanost procene troškova i zaključili da je, od ukupno 29 faktora identifikovanih pregledom literature, 9 faktora ključno za pouzdanost procene troškova. Zatim, određivanjem najznačajnijih uticajnih faktora na troškove izgradnje stambenih objekata primenom Pareto pravila bavili su se i Alshemosi i Alsaad (2018). Primenom Pareto principa na prethodno određene procenite relativne važnosti faktora, iz sedam grupa faktora (faktori vezani za proces procene, tender, ugovor, izvođenje, karakteristike projekta, društvena i finansijska pitanja) određeno je deset najznačajnijih faktora koje je potrebno uzeti u obzir prilikom procene troškova.

Veći broj publikovanih istraživanja na temu procena troškova u građevinarstvu pruža uvid u to da je za različite tipove objekata moguće odrediti troškovno značajne pozicije radova za koje važi pravilo 80:20. Adegoke (2017) je testirao primenu Pareto principa na studiji slučaja koja se sastojala od stambenih objekata u Nigeriji i zaključio da 44% pozicija određuje 80% ukupnih troškova. Takođe, Tas i Yaman (2005) su proučavali projekte stambenih zgrada kako bi utvrdili koje su troškovno značajne pozicije iz predmera i predračuna i došli su do zaključka da 36% pozicija rada nosi oko 81% ukupnih troškova. Shehab i ostali (2010) su se bavili razvojem modela za procenu troškova rekonstrukcije i izmeštanja instalacija vodovoda i kanalizacije primenom višestruke regresione analize i veštačkih neuronskih mreža. Primenom Pareto principa određene su pozicije koje najviše utiču na ukupne troškove. Analizirani su podaci sa ukupno 54 projekta. Od ukupno 180 pozicija, 23 pozicije nose 80% troškova i čine oko 13% od ukupnog broja pozicija. Istraživanje koje su za projekte izgradnje armirano-betonskih prednapregnutih mostova sprovedi Kovacevic i ostali (2021) je pokazalo da su, u analiziranom uzorku od 181 mosta, betonski radovi i radovi od metala troškovno značajne vrste radova koje je potrebno razmatrati prilikom formiranja modela za procenu troškova. Beljkaš i ostali (2020) su zaključili da betonski i armirački radovi imaju ukupno procentualno učešće od 77,3% ukupnih troškova integralnih mostova.

U nastojanju da se ovaj princip primeni u ovoj disertaciji za određivanje troškovno značajnih grupa radova i njihovih pripadajućih troškovno uticajnih parametara, ispitane su sve pozicije rada u okviru predmera i predračuna radova koje se odnose na prikupljeni skup podataka. Kako su tenderska i projektna dokumentacija za analizirani skup podataka pripremane u različitim državama i od strane različitih projektantskih i izvođačkih firmi, njihova forma se razlikuje od slučaja do slučaja. Iz navedenog razloga, proces pripreme i analize podataka je predstavljao kompleksan proces koji je iziskivao veliku količinu vremena. Prvo, kako bi se postigla uniformnost podataka, bilo je potrebno identifikovati iste grupe radova iz predmera i predračuna radova za sve projekte, kao i pripadajuće pozicije

radova za sve identifikovane grupe radova. Analizom predmera i predračuna i pregrupisavanjem pozicija radova došlo se do ujednačene liste od 15 grupa radova (Tabela 14). Pojedine vrste radova bilo je potrebno pregrupisati kako bi se prilagodili identifikovanoj listi radova.

Tabela 14. Ujednačena lista grupa radova.

Grupa radova	Opis
Trasa auto-puta/ Highway alignment	—
Lokalni i alternativni putevi i devijacije/ Local and alternative roads and deviations	—
Mostovi/ Bridges	Mostovi, vijadukti i nadvožnjaci u trupu auto-puta
Mostovi na lokalnim putevima i petljama/ Bridges on local roads and interchanges	Mostovi, nadvožnjaci i podvožnjaci na lokalnim i alternativnim putevima i petljama
Tuneli/ Tunnels	Tuneli i galerije u trupu auto-puta
Denivelisane raskrsnice/ Interchanges	Svi tipovi denivelisanih raskrsnica
Odvodnjavanje/ Drainage	—
Inženjerske konstrukcije/ Engineering structures	Potporni zidovi, zaštite kosina, potporne konstrukcije od armirane zemlje, propusti itd.
Regulacija vodenih tokova/ Regulation of water streams	—
Saobraćajna signalizacija i oprema/ Traffic signalization and equipment	—
Tehnička infrastruktura/ Technical infrastructure	Elektrotehničke i telekomunikacione instalacije
Uređenje putnog pojasa/ Landscaping	—
Oprema/ Road equipment	Ograde puta
Zaštita životne sredine/ Environmental protection	Zidovi za zaštitu od buke
Drugi radovi/ Other works	Specifične vrste radova koje nisu sastavni deo ujednačene liste grupa radova (npr. izmeštanje železničke pruge)

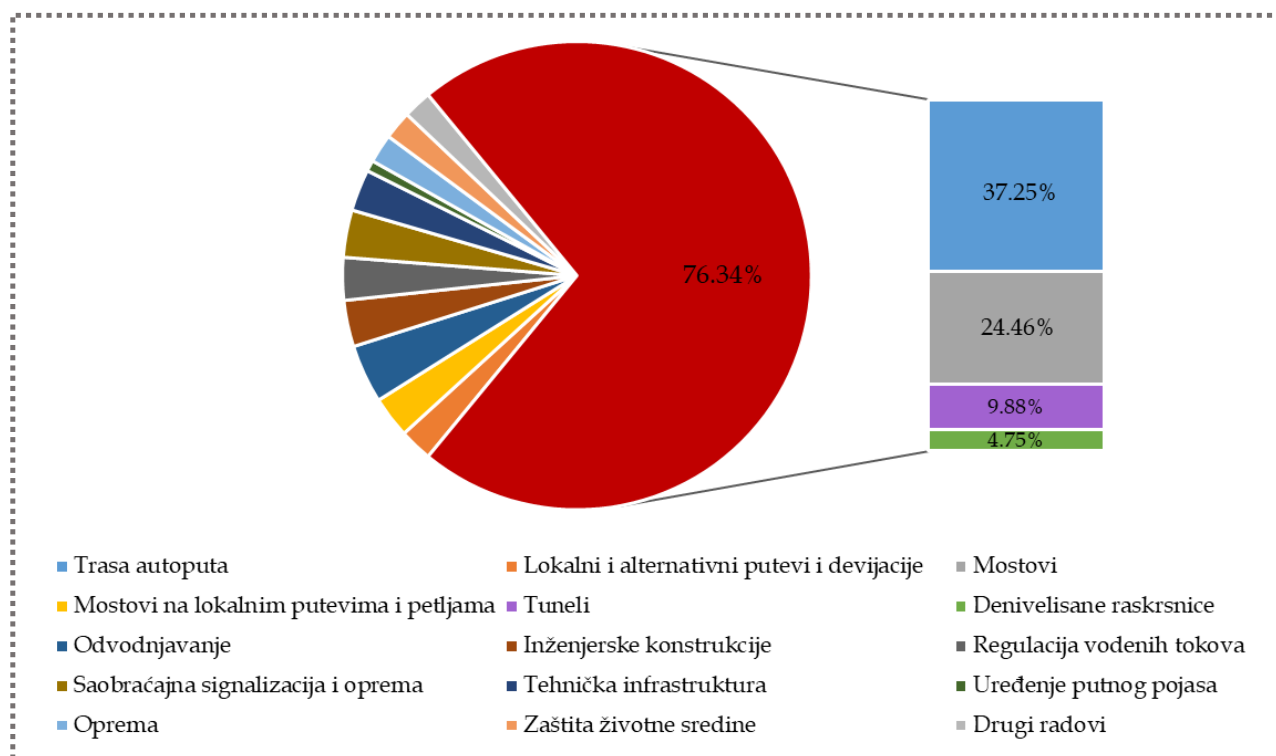
Nakon korigovanja i prilagođavanja, bilo je moguće porediti podatke iz predmera i predračuna sa različitim projektima. Analizom dostupnih podataka određena su procentualna učešća grupa radova u odnosu na ukupne troškove projekta kako bi se sagledale troškovno značajne grupe radova. Iz Tabele 15 se može zaključiti da su troškovno značajne grupe radova Trasa auto-puta, Mostovi, Tuneli i Denivelisane raskrsnice koji u proseku čine 37,25%, 24,46%, 9,88% i 4,75% ukupnih troškova projekta respektivno. Ovi radovi u zbiru predstavljaju 26,67% grupa radova koji su uključeni u projekte izgradnje

auto-puteva i čine 76,34% ukupnih troškova projekta. Navedeni procenti su u saglasnosti sa Pareto principom, tj. za analizirani skup podataka važi pravilo 80:20.

Tabela 15. Procentualna učešća grupa radova u odnosu na ukupne troškove projekta.

Grupa radova	Minimalno učešće u ukupnim troškovima (%)	Maksimalno učešće u ukupnim troškovima (%)	Srednja vrednost učešća u ukupnim troškovima (%)
Trasa auto-puta/ Highway alignment	2,23	76,34	37,25
Lokalni i alternativni putevi i devijacije/ Local and alternative roads and deviations	0	21,76	2,91
Mostovi/ Bridges	0	74,8	24,46
Mostovi na lokalnim putevima i petljama/ Bridges on local roads and interchanges	0	21,76	4,03
Tuneli/ Tunnels	0	73,49	9,88
Denivelisane raskrsnice/ Interchanges	0	43,8	4,75
Odvodnjavanje/ Drainage	0,75	15,06	4,47
Inženjerske konstrukcije/ Engineering structures	0,12	14,73	4,4
Regulacija vodenih tokova/ Regulation of water streams	0	9,98	3,13
Saobraćajna signalizacija i oprema/ Traffic signalization and equipment	0,19	11,46	4,38
Tehnička infrastruktura/ Technical infrastructure	0,04	15,13	3,05
Uređenje putnog pojasa/ Landscaping	0,07	3,33	0,9
Oprema/ Road equipment	0,07	13,26	2,11
Zaštita životne sredine/ Environmental protection	0,08	18,51	2,21
Drugi radovi/ Other works	0	15,74	2,89

Na osnovu troškovno značajnih grupa radova identifikovanih u Tabeli 15 i prikazanih na Slici 28, može se zaključiti da su u sklopu trase auto-puta troškovno značajni objekti: mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice.



Slika 28. Prikaz udela troškovno značajnih grupa radova u ukupnim troškovima.

Identifikacijom troškovno značajnih grupa radova, odnosno troškovno značajnih objekata, mogu se utvrditi troškovno uticajni parametri koji su u vezi sa navedenim objektima i koji će služiti kao ulazne promenljive prilikom modeliranja procene troškova.

5. Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara

5.1 Uvod

Predmet ovog poglavlja jeste određivanje ključnih parametara koji utiču na troškove izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica radi rane procene troškova izgradnje u početnim fazama razvoja projekta, a u cilju postizanja zadovoljavajuće tačnosti predviđanja uz minimalni potreban napor (troškovi i vreme). Glavni ciljevi ovog dela istraživanja jesu poređenje percepcija investitora i izvođača u vezi sa nivoom uticaja troškovnih parametara na troškove izgradnje auto-puteva i nivoom napora potrebnim za određivanje vrednosti tih parametara. Nakon toga, izvršeno je rangiranje troškovno uticajnih parametara na osnovu percepcija navedene dve grupe ispitanika.

Kako bi se ostvarili definisani ciljevi istraživanja, predložena je metodologija istraživanja koja se sastoji iz dve etape:

- Formiranje preliminarne liste troškovno uticajnih parametara i anketnog upitnika;
- Određivanje percepcija investitora i izvođača i rangiranje troškovnih parametara.

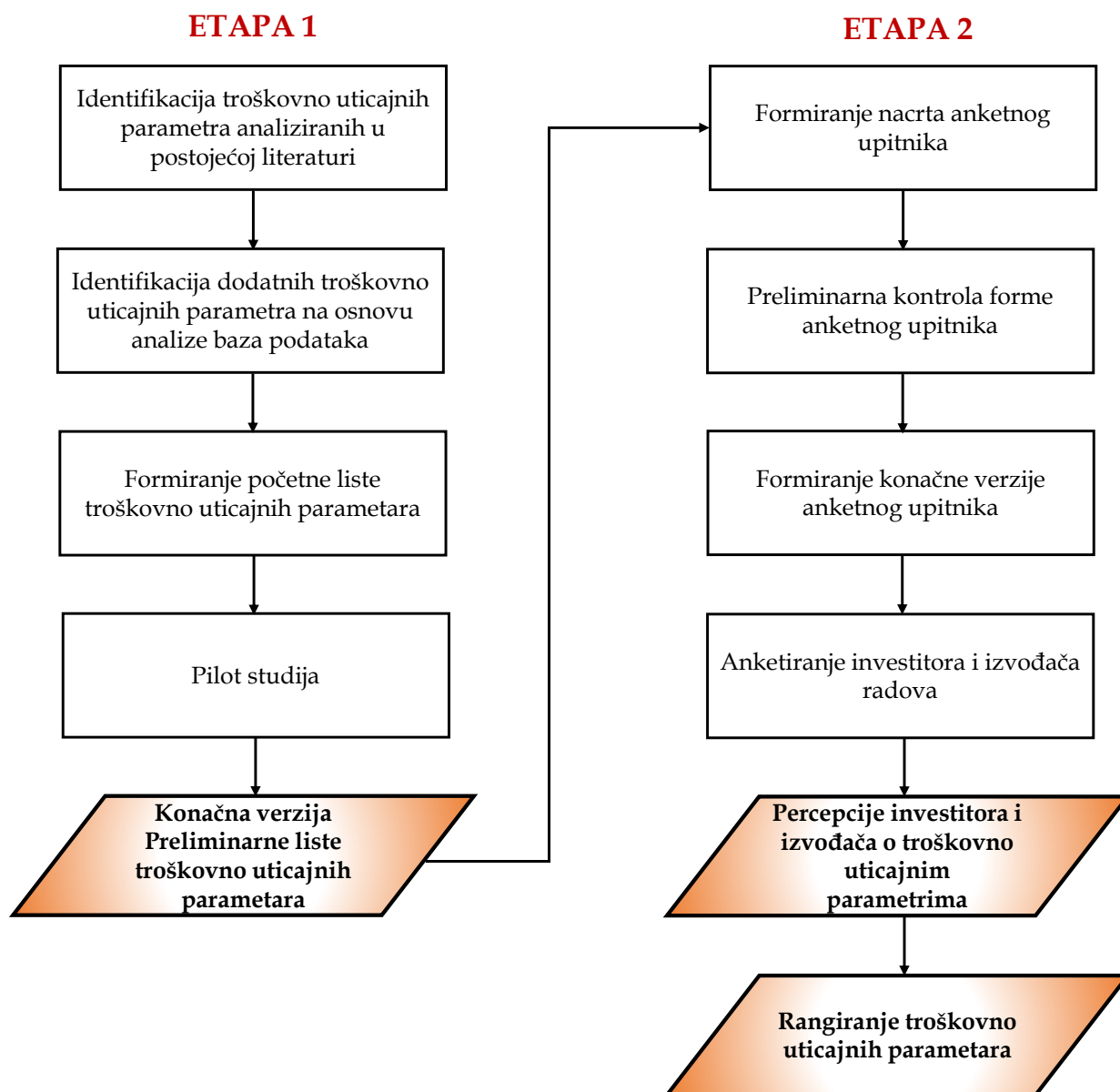
5.2 Metodologija određivanja ključnih troškovno uticajnih parametara

Metodologija ove faze istraživanja - Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara prikazana je na Slici 29.

Kao što se može videti sa Slike 29, metodologija za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara se sastoji iz dve etape. Etapa 1 podrazumeva definisanje početne liste troškovno uticajnih parametara koji su identifikovani analizom pregledane literature i analizom podataka dostupnih u kreiranim bazama podataka. Nakon toga je pilot studijom, koja je sprovedena intervjuisanjem tri eksperta, utvrđena konačna verzija Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara.

Etapa 2 metodologije određivanja ključnih troškovno uticajnih parametara se bavi utvrđivanjem percepcija ključnih učesnika na projektu (investitora i izvođača) o troškovno uticajnim parametrima iz prethodno formirane konačne verzije Preliminarne liste. Prvo je formiran nacrt anketnog upitnika. Nakon preliminarne kontrole forme anketnog upitnika,

formirana je konačna verzija anketnog upitnika. Na osnovu rezultata sprovedene ankete identifikovane su percepcije investitora i izvođača i sprovedena je analiza i poređenje dobijenih rezultata. Kao finalni rezultat Etape 2, izvršeno je rangiranje troškovno uticajnih parametara na bazi tri različite perspektive (generalna perspektiva, perspektiva investitora i perspektiva izvođača).



Slika 29. Metodologija za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara.

5.2.1 Formiranje Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara

5.2.1.1 Troškovno uticajni parametri identifikovani pregledom literature

Pregled relevantne literature na temu procene troškova putnih infrastrukturnih projekata koji je detaljno prikazan u okviru Poglavlja 2 - Pregled literature, pružio je uvid u ranije analizirane troškovno uticajne parametre. Nakon detaljne analize članaka koji su objavljeni

u periodu između 1998. i 2022. godine, formirana je široka lista svih, u njima pomenutih, parametara (189 parametara). Konstatovano je da je svaki autor formirao svoju listu troškovno uticajnih parametara, ali da se jedan značajan broj parametara pojavljuje u više članaka. Za potrebe ove disertacije najpre je bilo potrebno iz široke liste identifikovati i eliminisati troškovno uticajne parametre koji se ponavljaju pod istim ili sličnim nazivima, a potom isključiti one parametre koji su irelevantni za projekte izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica.

Tabela 16 sadrži pregled ukupno 23 troškovno uticajna parametra korišćena u 20 odabranih ključnih članaka. Za svaki parametar prikazani su izvori u kom su identifikovani, kao i učestalost javljanja u 20 analiziranih studija (članaka).

Tabela 16. Lista relevantnih troškovno uticajnih parametara identifikovanih pregledom literature.

Parametar	Izvor	Učestalost (%)
Dužina puta	(Hegazy i Ayed, 1998; Kim i ostali, 2008; Mahamid, 2011; Kim, 2013; Elbeltagi i ostali, 2014; Adel i ostali, 2016; Gardner i ostali, 2017; Zhang i ostali, 2017; Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018; Karaca i ostali, 2020; Tijanić i ostali, 2020)	63.64
Širina puta/ Broj traka	(Hegazy i Ayed, 1998; Kim i ostali, 2008; Mahamid, 2011; Kim, 2013; Elbeltagi i ostali, 2014; Adel i ostali, 2016; Gardner i ostali, 2017; Zhang i ostali, 2017; Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018; Karaca i ostali, 2020; Tijanić i ostali, 2020; Sodikov, 2005)	63.64
Klasifikacija puta	(Sodikov, 2009; Elbeltagi i ostali, 2014; Adel i ostali, 2016; Gardner i ostali, 2017; Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018; Meharie i ostali, 2019; Karaca i ostali, 2020; Tijanić i ostali, 2020)	45.45
Broj mostova	(Gardner i ostali, 2017; Meharie i ostali, 2019; Karaca i ostali, 2020)	13.64
Broj petlji	(Al-zwainy i Aidan, 2017)	4.55
Dužina mostova	(Kim i ostali, 2008; Al-zwainy i Aidan, 2017)	9.09
Dužina tunela	(Kim i ostali, 2008)	4.55
Trajanje radova*	(Hegazy i Ayed, 1998; Wilmot i Cheng, 2003; Sodikov, 2005; Kim i ostali, 2008; Sodikov, 2009; Kim, 2013; Elbeltagi i ostali, 2014; Adel i ostali, 2016; Gardner i ostali, 2017; Zhang i ostali, 2017; Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018; Meharie i ostali, 2019; Karaca i ostali, 2020; Tijanić i ostali, 2020)	72.73
Tip terena	(Sodikov, 2009; Pewdum i ostali, 2009; Kim, 2013; Gardner i ostali, 2017; Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018; Meharie i ostali, 2019)	36.36
Obim radova	(Hegazy i Ayed, 1998; Kim i ostali, 2008; Sodikov, 2009; Kim, 2013; Elbeltagi i ostali, 2014; Adel i ostali, 2016; Meharie i ostali, 2019; Tijanić i ostali, 2020)	45.45
Vrsta kolovozne konstrukcije	(Sodikov, 2005; El-Sawalhi, 2015; Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018)	22.73
Projektovana brzina	(Gardner i ostali, 2017)	4.55

Parametar	Izvor	Učestalost (%)
Klimatski uslovi	(Sodikov, 2009; Pewdum i ostali, 2009; Cirilovic i ostali, 2013)	13.64
Bruto domaći proizvod	(Sodikov, 2009; Cirilovic i ostali, 2013)	9.09
Nivo korupcije	(Cirilovic i ostali, 2013)	4.55
Cena sirove nafte	(Cirilovic i ostali, 2013)	4.55
Cena dizel goriva	(Cirilovic i ostali, 2013)	4.55
Godina izgradnje/ugovaranja	(Hegazy i Ayed, 1998; Elbeltagi i ostali, 2014; Adel i ostali, 2016; Gardner i ostali, 2017)	22.73
Stopa inflacije	(Cirilovic i ostali, 2013; Meharije i ostali, 2019)	9.09
Tip ugovora	(Kim i ostali, 2008; El-Sawalhi, 2015)	9.09
Broj ponuđača	(Cirilovic i ostali, 2013; Zhang i ostali, 2017)	9.09
Indeks potrošačkih cena	(Zhang i ostali, 2017)	4.55
Indeks proizvođačkih cena	(Zhang i ostali, 2017)	4.55

*U pojedinim slučajevima, trajanje radova može podrazumevati očekivano trajanje radova ili očekivani napredak radova po dužini ili površini kolovoza.

Iz tabele se može uočiti da su najučestaliji troškovno uticajni parametri korišćeni u prethodnim studijama trajanje radova, dužina puta i širina puta/broj traka. Za njima slede klasifikacija puta i obim radova. Tip terena se izdvaja kao značajan troškovno uticajni parametar identifikovan u prethodnim studijama sa učestalošću od 36,36%.

Takođe, iz tabele se može zaključiti da je samo manji broj studija analizirao karakteristike okruženja projekata (kao što su na primer indeksi cena i društveno-ekonomski pokazatelji stanja u državi). Iz tog razloga, jedan od ciljeva ovog dela istraživanja bio je da se u Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara uključi veći broj promenljivih koje opisuju karakteristike okruženja projekata i kroz anketni upitnik testira njihov značaj za procenu troškova u početnim fazama razvoja projekta na osnovu percepcija ključnih učesnika na projektu (investitora i izvođača).

Pored toga, uočeno je da analizirane studije ne razmatraju u dovoljnoj meri karakteristike troškovno značajnih objekata prilikom procene troškova putnih infrastrukturnih projekata. S obzirom na to da je Pareto analizom podataka iz raspoloživih predmeta i predračuna (Poglavlje 2.5) utvrđeno da su najčešće troškovno značajni objekti u sklopu trase auto-puta mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice, izvršen je pregled relevantne literature o proceni troškova navedenih objekata.

Najčešće analizirani troškovno uticajni parametri za projekte izgradnje mostova jesu: širina i dužina mosta, prosečna visina stubova i prosečni raspon mosta (Kovačević i ostali, 2023;

Beljkaš i Knežević, 2021; Kovacevic i ostali, 2021). Međutim, analizom projekata iz baze podataka je utvrđeno da ekstremni objekti u okviru trase auto-puta imaju značajan uticaj na troškove izgradnje, pa je fokus ovog istraživanja stavljen na postojanje i karakteristike takvih objekata u sklopu trase auto-puta. Shodno tome, troškovni parametri vezani za mostove koji su uključeni u analizu su: najveća dužina mosta na deonici, velika visina stubova ekstremnih mostova i veliki raspon ekstremnih mostova.

Pregled literature o procenama troškova izgradnje tunela pružio je uvid u ranije analizirane troškovno uticajne parametre vezane za tunele (Petroutsatou i ostali, 2021; Petroutsatou i ostali, 2012; Membah i Asa, 2015; Rostami i ostali, 2013; Ahmed, 2021). Pojedini autori su kao ulazne promenljive za razvoj modela za procenu troškova koristili dimenzije tunela, kao što je, na primer, prečnik tunela (Rostami i ostali, 2013; Ahmed, 2021). S obzirom na to da su predmet ove disertacije projekti izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica, koji imaju standardizovane dimenzije poprečnog preseka tunela, ova promenljiva je isključena iz dalje analize. Promenljive koje definišu tehnologiju izgradnje tunela su kategorija tla i način iskopa. Može se zaključiti da metoda iskopa tunela sa sobom podrazumeva određene uslove u tlu jer za svaki tip geoloških uslova tla postoje manje ili više uobičajene metode iskopa (Rostami i ostali, 2013). Shodno tome, kako bi se izbegao problem multikolinearnosti, za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara i modeliranje procene troškova biće testirana samo promenljiva koja definiše metodu iskopa tunela, a ne i promenljiva koja definiše uslove u tlu. Konačno, troškovno uticajni parametri vezani za tunele koji su uključeni u analizu su: broj tunelskih cevi, najveća dužina tunela na deonici i metoda iskopa tunela.

5.2.1.2 Troškovno uticajni parametri identifikovani analizom prikupljenih podataka

Paralelno sa pregledom literature tekao je proces prikupljanja podataka i kreiranja baza istorijskih podataka koji je opisan u prethodnom poglavlju. Analiza prikupljene dokumentacije i formiranih baza podataka pružila je uvid u raspoložive podatke o karakteristikama projekata. Na osnovu analize formiranih baza podataka, identifikovani su dodatni parametri koji su, pored parametara identifikovanih pregledom literature, uključeni u početnu Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara.

Analizom prikupljenih podataka potvrđena je dostupnost podataka o karakteristikama projekata koje su pregledom literature identifikovane kao troškovni parametri analizirani u prethodnim studijama (na primer učešće određenog tipa terena u dužini deonice, broj petlji, projektovana brzina, planirano trajanje projekta itd.). Sprovedenom analizom, identifikovane su i dodatne karakteristike projekata koje predstavljaju značajne podatke koje je potrebno analizirati kao troškovno uticajne parametre, pored onih već prepoznatih u analiziranoj literaturi (Tabela 16). Parametri koji dodatno definišu karakteristike projekata, a nisu korišćeni u analiziranoj literaturi, i koji su uključeni u Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara su:

- Vrsta tenderskog postupka;

- Postojanje klizne skale;
- Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i donacijama međunarodnih finansijskih institucija;
- Finansiranje projekta od strane više međunarodnih finansijskih institucija.

Pored podataka o karakteristikama projekata, analizom dostupnih podataka su identifikovani i podaci o karakteristikama okruženja projekata koje je potrebno analizirati kao troškovno uticajne parametre. Među takvim identifikovanim troškovno uticajnim parametrima su sledeće promenljive koje opisuju ekonomske uslove i stanje građevinskog tržišta države u kojoj se projekat realizuje:

- Promene cena dizel goriva (indeks proizvođačkih cena za tečna goriva i maziva);
- Prosečna bruto zarada u građevinarstvu;
- Promene cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu (indeks proizvođačkih cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu);
- Promene cena armature (indeks proizvođačkih cena osnovnih metala);
- Promene cena agregata (indeks proizvođačkih cena za vađenje ostalih ruda i kamena);
- Promene cena bitumena (indeks proizvođačkih cena koksa i derivata nafte);
- Indeks vrednosti novih ugovorenih radova;
- Indeks izdatih građevinskih dozvola ukupno.

S obzirom na to da su prethodna istraživanja koristila opšti indeks proizvođačkih cena, u predloženu listu troškovno uticajnih parametara su uključeni pojedinačni indeksi proizvođačkih cena različitih resursa koji su u ugovorima predviđeni indeksnom metodom klizne skale za revalorizaciju cena.

Takođe, resursi za izgradnju auto-puteva su u strogoj korelaciji sa stanjem privrede i društva (Mahdavian i ostali, 2021), te su iz tog razloga u predloženu listu uključene i promenljive koje to stanje definišu. Identifikovani troškovno uticajni parametri koji opisuju stanje društva i države u kojoj se projekat realizuje su:

- Indeks kontrole korupcije;
- Indeks efektivnosti Vlade;
- Politička stabilnost i odsustvo nasilja/terorizma;
- Stopa nezaposlenosti.

Detaljna objašnjenja svih navedenih parametara su data u okviru Poglavlja 4 (Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva).

5.2.1.3 Pilot studija

Poslednji korak u okviru kreiranja Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara bila je pilot studija. Pilot studija je prepoznata u prethodnim istraživanjima kao poslednji korak ka utvrđivanju finalnog oblika liste i priprema za formiranje anketnog upitnika (Hatamleh i ostali, 2018; Alshihri i ostali, 2022).

Cilj pilot studije bio je da se predložena lista troškovno uticajnih parametara „prečisti“ eliminisanjem irelevantnih parametara i dodavanjem novih parametara koje su eksperti smatrali značajnim za procenu troškova izgradnje auto-puteva, a koji su izostavljeni iz predložene liste.

U ovoj disertaciji, pilot studija je podrazumevala kvalitativno istraživanje - individualne intervju sa tri eksperta koji imaju više od 20 godina akademskog i stručnog iskustva u upravljanju projektima u građevinarstvu. Eksperti koji su evaluirali listu u pilot studiji su iz Srbije, tako da je konačna lista pogodna za uslove tržišta Srbije, ali i drugih zemalja u razvoju, pre svega zemalja Jugoistočne Evrope.

Ekspertima je data na uvid početna lista troškovno uticajnih parametara svrstanih u šest kategorija:

1. Trasa auto-puta (*Highway alignment*),
2. Mostovi (*Bridges*),
3. Tuneli (*Tunnels*),
4. Ugovorni parametri (*Contract*),
5. Ekonomski parametri (*Economic*),
6. Društveni parametri (*Social*).

Nakon sprovedenih individualnih intervju, sumirane su sugestije eksperata. Između ostalog, predlog eksperata je bio da, imajući u vidu značaj ekoloških pitanja, Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara treba da sadrži promenljive koje se odnose na postojanje i nivo primene mera zaštite životne sredine na projektu. Nema sumnje da su mere zaštite životne sredine jedan od najvažnijih aspekata projekata izgradnje auto-puteva koji je od neprocenjivog značaja za životnu sredinu, a samim tim i za dobrobit ljudi. Takođe, u postojećoj literaturi je sugerisana potreba da se ekološka pitanja uzmu u obzir prilikom procene troškova projekata izgradnje auto-puteva (Luo i ostali, 2021). Stoga je dodatna, ekološka, kategorija troškovno uticajnih parametara uključena u ažuriranu listu.

Takođe, po preporuci eksperata, u listu troškovnih parametara uvedena je promenljiva koja izražava postojanje ekstremnih objekata u sklopu trase auto-puta. Ove informacije su sa razumnim pouzdanostu dostupne u početnim fazama razvoja projekta, a eksperti su ih smatrali ključnim za procenu troškova budućeg projekta.

Eksperti su, takođe, smatrali da su mostovi i tuneli, kao troškovno značajni objekti u okviru trase auto-puta, u dovoljnoj meri predstavljeni pomoću predloženih troškovno uticajnih

parametara, ali da je pored promenljive koja predstavlja broj denivelisanih raskrsnica potrebno uvesti dodatni parametar koji će jasnije definisati kompleksnost predviđenih raskrsnica. Iz tog razloga, na osnovu dostupnih podataka iz kreirane baze podataka o denivelisanim raskrsnicama, izdvojena je promenljiva koja predstavlja dužinu mostova u okviru denivelisanih raskrsnica i uključena je u listu kao dodatni troškovno uticajni parametar. Kompleksnost i tip denivelisanih raskrsnica su u vezi sa brojem i dužinom mostova sadržanih u sklopu raskrsnica.

Pilot studija je, takođe, rezultirala i predlogom za eliminaciju pojedinih troškovno uticajnih parametara iz Preliminarne liste i upitnika. Eksperti su smatrali da pojedini indeksi proizvođačkih cena treba da budu isključeni iz daljih analiza. Oni su smatrali da je promene cena resursa (radne snage, materijala i mehanizacije) dovoljno predstaviti indeksima cena za radnu snagu, dizel gorivo i elemente i materijale za ugrađivanje u građevinarstvu. Kao razlog za eliminaciju su naveli to da promena cena dizel goriva, kao energenta, definiše promenu cena mehanizacije i promenu cena bitumena. Takođe, eksperti su smatrali da promene cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu u dovoljnoj meri opisuju promene cena materijala i da bi uključivanje svih indeksa proizvođačkih cena moglo da utiče na percepcije ispitanika u anketnom upitniku i dovede do problema multikolinearnosti.

Krajnji rezultat pilot studije bila je finalna verzija Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara koja sadrži 34 troškovna parametra svrstana u sedam kategorija:

1. Trasa auto-puta (*Highway alignment*),
2. Mostovi (*Bridges*),
3. Tuneli (*Tunnels*),
4. Ugovorni parametri (*Contract*),
5. Ekonomski parametri (*Economic*),
6. Društveni parametri (*Social*),
7. Ekološki parametri (*Environmental*).

Troškovno uticajni parametri su svrstani u kategorije na osnovu dominantnih karakteristika projekta koje oni opisuju. U prve tri kategorije se nalaze troškovni parametri koji se odnose na troškovno značajne grupe radova, gde kategorija koja se odnosi na trasu auto-puta uključuje i promenljive koje definišu denivelisane raskrsnice.

Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara prikazana je u Tabeli 17.

Tabela 17. Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara.

Kategorija	Oznaka	Parametar
Trasa auto-puta (Highway alignment)	HA.1	Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice
	HA.2	Postojanje velikih značajnih objekata
	HA.3	Broj denivelisanih raskrsnica (petlji)
	HA.4	Dužina mostova na petljama
	HA.5	Računska brzina
	HA.6	Učešće otvorene trase u dužini deonice
	HA.7	Učešće mostova u dužini deonice
	HA.8	Učešće tunela u dužini deonice
Mostovi (Bridges)	B.1	Najveća dužina mosta na deonici
	B.2	Velika visina stubova ekstremnih mostova
	B.3	Velika dužina raspona ekstremnih mostova
Tuneli (Tunnels)	T.1	Broj tunelskih cevi
	T.2	Najveća dužina tunela na deonici
	T.3	Metoda iskopa tunela
Ugovorni (Contract)	C.1	Planirano trajanje radova
	C.2	Tip ugovora
	C.3	Vrsta tenderskog postupka
	C.4	Postojanje klizne skale
	C.5	Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima
	C.6	Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta
Ekonomski (Economic)	EC.1	Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)
	EC.2	Promena cena dizel goriva
	EC.3	Prosečna bruto zarada u građevinarstvu
	EC.4	Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu
	EC.5	Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi
	EC.6	Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini
	EC.7	Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda
Društveni (Social)	S.1	Nivo korupcije
	S.2	Indeks efektivnosti Vlade (brzina Vlade u rešavanju problema)
	S.3	Politička stabilnost
	S.4	Stopa nezaposlenosti
Ekološki (Environmental)	EN.1	Mere zaštite od saobraćajne buke
	EN.2	Mere zaštite površinskih i podzemnih voda
	EN.3	Mere zaštite flore i faune

5.2.2 Određivanje percepcija investitora i izvođača

Nakon formiranja konačne verzije Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara, sledeći korak u okviru određivanja ključnih troškovno uticajnih parametara bio je kreiranje anketnog upitnika. Anketiranje predstavlja najučestaliji metodološki pristup identifikaciji ključnih troškovno uticajnih parametara (Tabela 2). Anketni upitnik je efikasna metoda neeksperimentalnog istraživanja za prikupljanje informacija o mišljenjima, uverenjima, stavovima, percepcijama i karakteristikama uzorka populacije nizom standardizovanih pitanja (Creswell, 2009; Goh i Yang, 2014). Prikupljeni podaci iz anketnog upitnika se dalje obrađuju i analiziraju primenom različitih analitičkih metoda (Mikić, 2015).

U literaturi su definisane sledeće osnovne preporuke kojih se treba pridržavati prilikom kreiranja anketnog upitnika i sprovođenja postupka anketiranja (Mikić, 2015):

- problem istraživanja treba da bude jasno i precizno definisan kako bi ispitanici razumeli postavljena pitanja i odgovori bili adekvatni;
- kreiran upitnik je potrebno testirati primenom na fokusnoj grupi;
- uzorak ispitanika treba da bude reprezentativan.

Ciljevi sprovođenja anketnog upitnika su bili sledeći:

- Prikupljanje informacija o percepcijama ključnih učesnika na projektu (investitora i izvođača) o nivou uticaja troškovno uticajnih parametara na troškove izgradnje auto-puteva i nivou napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednosti parametara utvrdile za konkretni projekat;
- Poređenje percepcija investitora i izvođača radova o troškovno uticajnim parametrima i analiza stepena njihove saglasnosti;
- Rangiranje troškovno uticajnih parametara na osnovu Euklidske udaljenosti od Idealnog troškovno uticajnog parametra.

5.2.2.1 Formiranje nacrtanog upitnika

Na bazi konačne verzije Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara je formiran nacrt anketnog upitnika. Nacrt anketnog upitnika se sastojao iz tri dela.

Prvi deo je imao za cilj da utvrdi informacije o profesionalnom iskustvu ispitanika i postojećoj praksi procene troškova u njihovim kompanijama. Drugi i treći deo upitnika su sadržali Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara. Za sve parametre iz Preliminarne liste je bilo potrebno oceniti nivo uticaja na troškove gradnje auto-puteva (deo 2) i nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost parametra utvrdila za konkretni projekat (deo 3).

5.2.2.2 Preliminarna kontrola forme anketnog upitnika

Sa ciljem verifikacije forme anketnog upitnika, formirani nacrt upitnika je testiran na fokusnoj grupi od tri eksperta (isti eksperti koji su verifikovali Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara). Cilj je bio da se otklone mogući nesporednosti i nejasnoće iz anketnog upitnika, kao i da se poboljša njegova forma, struktura pitanja i mogućih odgovora i celokupni sadržaj upitnika.

Nakon inicijalnog sprovođenja ankete, dobijene su povratne informacije od tri eksperta. Kao rezultat testiranja nacrta upitnika na fokusnoj grupi, dodat je i četvrti deo upitnika koji ispitanicima pruža mogućnost da dopišu određene troškovno uticajne parametre ukoliko smatraju da su izostavljeni iz Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara.

5.2.2.3 Organizacija i struktura konačne verzije upitnika

Anketni upitnik, čija je forma prikazana u Prilogu A, kreiran je u formi online upitnika (*Google Forms*) i dizajniran je na srpskom jeziku. Takođe, učesnicima je ponuđena i mogućnost popunjavanja upitnika u papirnoj formi.

Upitnik je organizovan u četiri dela (Prilog A):

- Deo 1 sadrži opšta pitanja vezana za stručno iskustvo ispitanika (godine profesionalnog iskustva i njihova uloga na projektima izgradnje auto-puteva), kao i pitanja koja nastoje da istraže postojeću praksu procene troškova gradnje auto-puteva u kompanijama ispitanika;
- Drugi deo je uključivao prethodno definisanu Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara i imao je za cilj da utvrdi percipirani stepen uticaja parametara na troškove izgradnje auto-puteva. Ispitanici su zamoljeni da ocene stepen uticaja svakog od troškovnih parametara na skali od 1 do 5;
- Takođe, Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara bila je sastavni deo treće celine upitnika, gde je od ispitanika zatraženo da, na skali od 1 do 5, ocene nivo napora koji je potrebno uložiti za određivanje vrednosti troškovnih parametara. Pod nivoom napora su se u ovom upitniku podrazumevali vreme i novac koje je potrebno uložiti kako bi se vrednost parametra odredila za konkretni projekat;
- U četvrtom delu je ispitanicima data mogućnost da, ukoliko smatraju da su neki troškovno uticajni parametri izostavljeni u predloženoj listi, dopišu njihove nazive i ocene njihov nivo uticaja na troškove i nivo potrebnog napora za utvrđivanje njihovih vrednosti, na isti način kao u drugom i trećem delu.

Kao što je prikazano na Slici 30, pitanja u okviru drugog i trećeg dela upitnika su kreirana korišćenjem petostepene Likertove skale, pri čemu je od ispitanika zatraženo da izaberu najprikladniji odgovor. Da bi se izbegla pristrasnost ispitanika u ocenjivanju karakteristika troškovno uticajnih parametara, prema preporukama iz literature (Larsen i ostali, 2016) „Ne znam“ je uključeno kao opcija odgovora.

Molim Vas, za svaki parametar ocenite njegov uticaj na troškove izgradnje auto-puteva na skali od 1 do 5.

1	2	3	4	5
Nema uticaja ili veoma mali uticaj	Mali uticaj	Srednji uticaj	Veliki uticaj	Veoma veliki uticaj

Molim Vas, na skali od 1 do 5 ocenite nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost troškovno uticajnog parametra odredila za konkretni projekat.

1	2	3	4	5
Minimalni napor	Mali napor	Srednji napor	Veliki napor	Veoma veliki napor

Slika 30. Likertova skala primenjena u drugom i trećem delu anketnog upitnika.

5.2.3 Analiza rezultata

5.2.3.1 Analiza pouzdanosti upitnika

Analizi rezultata upitnika je prethodila analiza pouzdanosti upitnika. Pouzdanost upitnika je procenjena upotrebom Kronbahovog koeficijenta α , koji predstavlja jedan od najčešće korišćenih testova pouzdanosti za upitnike koji sadrže pitanja dizajnirana sa Likertovom skalom. Kronbahov koeficijent α predstavlja meru unutrašnje konzistentnosti i računa se prema sledećoj formuli (Alshihri i ostali, 2022):

$$C\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_b^2}{\sigma_t^2} \right] \quad (1)$$

gde je:

$C\alpha$ - Kronbahov koeficijent α ;

K - broj obeležja;

σ_b^2 - varijansa obeležja;

σ_t^2 - ukupna varijansa zbirnih ocena u upitniku.

Vrednosti koeficijenta $C\alpha$ se kreću u intervalu između 0 i 1. Ako je vrednost Kronbahovog koeficijenta α jednaka ili veća od 0,7, smatra se da je indikator verodostojan (Cronbach i Shavelson, 2004).

5.2.3.2 Analiza saglasnosti percepcija ključnih učesnika na projektu

Poređenje percepcija investitora i izvođača u vezi sa ključnim troškovno uticajnim parametrima na projektima izgradnje auto-puteva je jedan od ciljeva ove disertacije. Kako

bi se testirao konsenzus između percepcija investitora i izvođača o troškovnim parametrima, koristi se Spearman-ov koeficijent korelacije ranga. On predstavlja neparametarski test koji je u prethodnim studijama prepoznat kao pogodna mera za poređenje slaganja stavova i percepcija različitih učesnika na projektu (Assaf i Al-Hejji, 2006; Fallahnejad, 2013). Spearman-ov koeficijent korelacije ranga (r) se računa prema sledećoj formuli:

$$r = 1 - \frac{6\sum d^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

gde je:

r - Spearman-ov koeficijent korelacije ranga;

d - razlika između ranga dodeljenog svakom troškovno uticajnom parametru;

n - broj parova u rangu.

Spearman-ov koeficijent korelacije ranga može imati vrednosti u intervalu od -1 do +1. Vrednosti +1 ili -1 ukazuju na savršenu Spearman-ovu korelaciju (apsolutno slaganje ili apsolutno neslaganje), dok vrednost 0 indikuje da ne postoji zavisnost između dve grupe rezultata.

5.2.3.3 Percepcije ispitanika

Analiza podataka koji su generisani sprovedenim anketnim upitnikom se vrši na osnovu generalnih percepcija, ali i na osnovu percepcija investitora i izvođača zasebno. Analiza najpre podrazumeva sledeća dva koraka:

1. Izračunavanje prosečnih vrednosti percipiranih nivoa uticaja troškovno uticajnih parametara na osnovu sledeće formule:

$$x_{i,P} = \frac{\sum_{k=1}^{n_P} x_{i,k,P}}{n_P} \quad (3)$$

gde je:

$x_{i,P}$ - prosečna vrednost percipiranog nivoa uticaja troškovnog parametra i , na osnovu perspektive P (generalna perspektiva, perspektiva investitora, perspektiva izvođača);

$x_{i,k,P}$ - vrednost percipiranog nivoa uticaja troškovnog parametra i , koja odgovara ispitaniku k , koji pripada perspektivi P ;

n_P - broj validnih odgovora prema perspektivi P .

2. Izračunavanje prosečnih vrednosti percipiranih nivoa napora potrebnog za utvrđivanje vrednosti troškovno uticajnog parametra, na osnovu sledeće formule:

$$y_{i,P} = \frac{\sum_{k=1}^{n_P} y_{i,k,P}}{n_P} \quad (4)$$

gde je:

$y_{i,P}$ – prosečna vrednost percipiranog nivoa napora potrebnog za određivanje vrednosti troškovnog parametra i , na osnovu perspektive P (generalna perspektiva, perspektiva investitora, perspektiva izvođača);

$y_{i,k,P}$ – vrednost percipiranog nivoa napora potrebnog za određivanje troškovnog parametra i , koja odgovara ispitaniku k , koji pripada perspektivi P ;

n_P – broj validnih odgovora prema perspektivi P .

Nakon što su određene prosečne vrednosti percipiranih nivoa uticaja i nivoa napora koji odgovaraju svakom od troškovno uticajnih parametara iz Preliminarne liste, vrši se analiza i poređenje percepcija različitih perspektiva. Percepcije grupa ispitanika (investitora i izvođača) se porede kroz dva koraka:

1. Poređenje percepcija na nivou grupa parametara - Vizuelna prezentacija prosečnih vrednosti percipiranih nivoa uticaja i nivoa napora;
2. Poređenje percepcija na nivou pojedinačnih parametara - Rangiranja troškovno uticajnih parametara.

Vizuelna prezentacija prosečnih vrednosti percipiranih nivoa uticaja i nivoa napora omogućava poređenje percepcija različitih grupa ispitanika na nivou kategorija troškovno uticajnih parametara. Svaki troškovni parametar se prikazuje u koordinatnom sistemu „nivo uticaja na troškove - nivo napora potreban za određivanje vrednosti parametra“. Kategorije parametara se prikazuju različitim bojama, što omogućava vizuelnu interpretaciju rezultata percepcija ispitanika i njihovo međusobno poređenje na nivou grupa ispitanika.

Rangiranje troškovno uticajnih parametara pruža uvid u percepcije ispitanika na nivou pojedinačnih troškovnih parametara. U nastavku je opisan pristup koji se primenjuje za rangiranje parametara.

5.2.4 Rangiranje troškovno uticajnih parametara

Kako je objašnjeno u Poglavlju 2 (Pregled literature), prethodna istraživanja na temu procena troškova putnih infrastrukturnih projekata su, pre svega, bila fokusirana na postizanje što je moguće veće tačnosti procene troškova. Shodno tome, tačnost procene troškova je u takvim studijama izražena u funkciji stepena uticaja troškovnih parametara na troškove projekata putne infrastrukture. Iz navedenog razloga, autori su, u najvećem broju slučajeva, vršili rangiranja troškovno uticajnih parametara na osnovu prosečnog percipiranog uticaja na troškove ili na osnovu indeksa značaja sračunatog na osnovu percipiranog nivoa uticaja. Na primer, Al-Zwainy (2018) je rangirao troškovne parametre

na osnovu prosečnih vrednosti percipiranih uticaja koje su eksperti ocenjivali u skladu sa definisanim skalom, dodeljujući vrednost 100 parametru sa najvećim uticajem, a 1 parametru sa najmanjim uticajem. Slično vrednovanje su primenili Elbeltagi i ostali (2014), gde su troškovno uticajne parametre rangirali na osnovu vrednosti indeksa značaja (gde je 100 najpoželjnija vrednost).

Samo dva prethodna istraživanja se bave rangiranjem ključnih troškovno uticajnih parametara putnih infrastrukturnih projekata na osnovu nivoa uticaja parametara na troškove i nivoa napora potrebnog za određivanje vrednosti parametara. Mahalakshmi i Rajasekaran (2018) su na osnovu rezultata ankete, gde je 25 ispitanika ocenjivalo nivoe uticaja i nivoe napora za 20 troškovnih parametara, kao ključne parametre usvojili one koji su se, na osnovu grafičkog prikaza rezultata, pokazali kao parametri sa visokim percipiranim uticajem i niskim percipiranim nivoom napora. Gardner i ostali (2016) su izvršili rangiranje troškovno uticajnih parametara na osnovu njihove udaljenosti od idealne ulazne promenljive (najveći mogući uticaj – najmanji mogući napor), gde je udaljenost sračunata na osnovu percepcija 31 anketiranog ispitanika koji su svi zaposleni u istoj investitorskoj kompaniji (engl. *highway agency*).

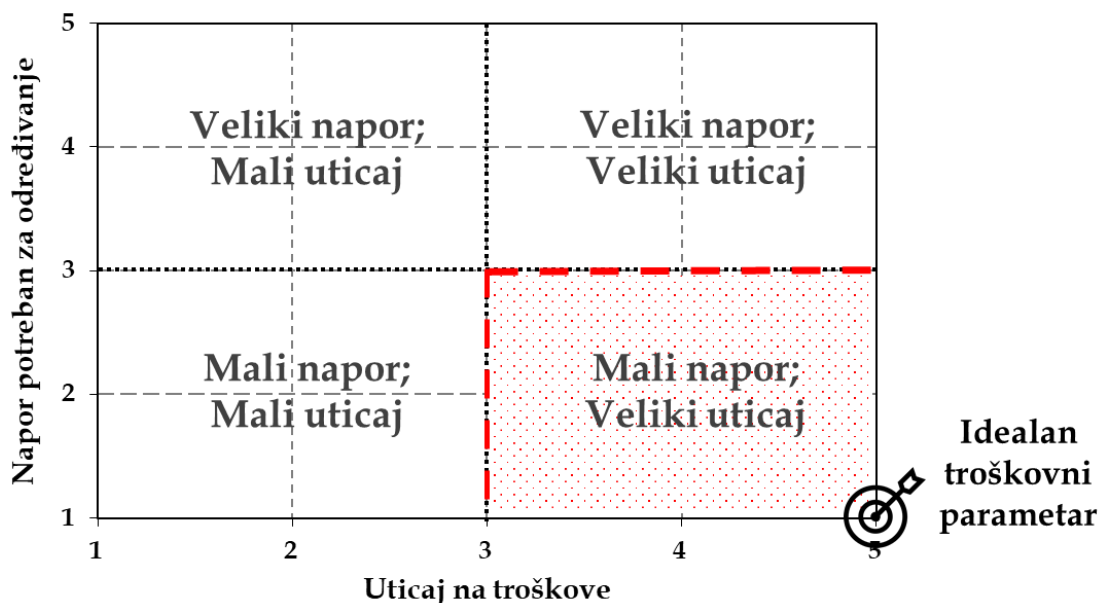
Može se zaključiti da prethodno navedena istraživanja koja su se bavila analizom i izborom ključnih troškovno uticajnih parametara imaju nekoliko ograničenja:

- Baziraju se na manjem broju ispitanika ankete – 25 ispitanika (Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018) i 31 ispitanik (Gardner i ostali, 2016);
- Zasnovana su na generalnoj perspektivi (Mahalakshmi i Rajasekaran, 2018) ili perspektivi investitora (Gardner i ostali, 2016), bez razmatranja perspektive izvođača i poređenja slaganja različitih percepcija;
- Liste troškovnih parametara ne uzimaju u obzir karakteristike okruženja projekata, kao što je npr. društveno-ekonomsko stanje u državi, kao ni ugovorne karakteristike;
- Liste troškovno uticajnih parametara su generalizovane za sve klasifikacije puteva i obime radove, ne uzimajući u obzir parametre specifične za određenu klasu puteva, kao ni za određeni obim radova.

Za razliku od prethodnih istraživanja, u ovoj disertaciji se rangiranje ključnih troškovno uticajnih parametara vrši na osnovu ranije pomenute tri perspektive (generalna, perspektiva investitora i perspektiva izvođača) i u skladu sa time se porede tri grupe rezultata.

Rangiranje se vrši na osnovu Euklidske udaljenosti parametara od Idealnog troškovno uticajnog parametra. Pod Idealnim troškovno uticajnim parametrom se podrazumeva parametar koji ima najveći mogući uticaj na troškove izgradnje auto-puteva (5, u skladu sa Likertovom skalom) i zahteva najmanji mogući napor za utvrđivanje njegove vrednosti (1, u skladu sa Likertovom skalom) (Slika 31). Na Slici 31 je crvenom bojom označen najpoželjniji kvadrant u skladu sa ocenama predviđenim Likertovom skalom u anketnom

upitniku. To je kvadrant u koji spadaju troškovno uticajni parametri koji zahtevaju mali nivo napora za njihovo određivanje, a imaju veliki uticaj na troškove izgradnje auto-puteva.



Slika 31. Izbor ključnih troškovnih parametara (modifikovano iz (Gardner i ostali, 2016)).

Euklidska udaljenost od Idealnog troškovno uticajnog parametra se računa na osnovu sledeće formule:

$$ED_P = \sqrt{(x_{i,P} - A)^2 + (y_{i,P} - B)^2} \quad (5)$$

gde je:

ED_P - Euklidska udaljenost od Idealnog troškovno uticajnog parametra prema perspektivi P (generalna perspektiva, perspektiva investitora, perspektiva izvođača);

$x_{i,P}$ - prosečna vrednost percipiranog nivoa uticaja troškovnog parametra i , na osnovu perspektive P ;

A - najveći mogući uticaj na troškove na osnovu Likertove skale, što je 5;

$y_{i,P}$ - prosečna vrednost percipiranog nivoa napora potrebnog za određivanje troškovnog parametra i , na osnovu perspektive P ;

B - najmanji mogući potreban napor za određivanje vrednosti troškovnog parametra na osnovu Likertove skale, što je 1.

5.3 Rezultati i diskusija

Preliminarni rezultati ankete su prvobitno objavljeni od strane autora disertacije u (Simić i ostali, 2023). Grafički prikaz i interpretacija rezultata, kao i rangiranje troškovno uticajnih

parametara na osnovu Euklidske udaljenosti od Idealnog troškovnog parametra su prikazani u Poglavlju 4 navedenog rada.

5.3.1 Profil ispitanika

Anketno istraživanje je sprovedeno u decembru 2022. godine. Ciljana grupa ispitanika podrazumevala je stručnjake koji su (bili) angažovani na projektima izgradnje auto-puteva u Srbiji, Bosni i Hercegovini, Severnoj Makedoniji i Crnoj Gori. Cilj je bio da se anketiraju stručnjaci koji su imali iskustvo u izgradnji auto-puteva na strani investitora ili izvođača radova.

Ukupno 150 primeraka anketnog upitnika je distribuirano u štampanom obliku ili online putem elektronske pošte na adrese profesionalaca. Ciljana grupa eksperata je zaposlena u kompanijama investitora ili u domaćim i stranim kompanijama izvođača (i podizvođača) koji posluju prethodno navedenim zemljama. Kako bi se osigurala visoka stopa odgovora i najbolja moguća proporcionalna distribucija po grupama ispitanika (investitori i izvođači) i godinama stručnog iskustva, ispitanici su prvobitno kontaktirani putem telefona ili elektronske pošte. Svi ispitanici su bili upoznati sa ciljevima i namenom ankete, kao i uputstvima za popunjavanje upitnika.

Takođe, svi učesnici u upitniku su bili informisani da će se njihovi odgovori tretirati u skladu sa izjavom o zaštiti i anonimnosti podataka.

Od 150 distribuiranih upitnika, upitnik je kompletno popunilo 96 ispitanika, što je rezultiralo stopom odgovora od 64%. U poređenju sa drugim studijama koje koriste ankete za rešavanje problema u upravljanju projektima u građevinarstvu (Lind i Brunet, 2015; Doloi i ostali, 2012), dobijena stopa odgovora se može smatrati zadovoljavajućom.

U prvom delu ankete, ispitanici su odgovarali na sledeća dva pitanja:

- Koliki je broj godina Vašeg radnog iskustva u praksi?
- U realizaciji projekata izgradnje auto-puteva učestvovali ste na strani investitora ili izvođača?

Tabela 18 prikazuje rezime profila ispitanika. Uprkos relativno malom uzorku, kvalitet odgovora se može smatrati prilično pouzdanim zbog činjenice da su ispitanici blisko povezani sa predmetom proučavanja i da imaju višegodišnje iskustvo. Većina ispitanika (73%) ima dugogodišnje profesionalno iskustvo (više od 10 godina), pri čemu njih 35% ima više od 20 godina iskustva u struci.

Tabela 18. Profil ispitanika u anketnom upitniku.

Uloga na projektu	Podatak	Stručno iskustvo (godine)			Ukupno	Učešće po ulozi na projektu (%)
		<10	10-20	>20		
Izvođač	Ukupan broj	18	20	13	51	53,13
	% po stručnom iskustvu	35,29	39,22	25,49		
Investitor	Ukupan broj	8	16	21	45	46,87
	% po stručnom iskustvu	17,78	35,56	46,67		
Generalno	Ukupan broj	26	36	34	96	
	% po stručnom iskustvu	27,08	37,50	35,42		

Raspodela između izvođača i investitora je srazmerna, pri čemu izvođači učestvuju sa 53,13%, a investitori sa 46,87% u ukupnom broju ispitanika. Može se primetiti da ispitanici koji su učestvovali na projektima na strani investitora imaju nešto duže iskustvo u struci (82,23% sa preko 10 godina stručnog iskustva) u poređenju sa ispitanicima koji su se izjasnili kao izvođači radova (64,71% sa preko 10 godina stručnog iskustva).

5.3.2 Analiza pouzdanosti upitnika

U ovom istraživanju, kako bi se utvrdila pouzdanost upitnika, određene su vrednosti Kronbahovog koeficijenta α prema kategorijama troškovnih parametara, zbirne vrednosti za drugi i za treći deo anketnog upitnika, kao i ukupna vrednost koeficijenta (Tabela 19).

Tabela 19. Vrednosti Kronbahovog koeficijenta α .

Kategorija	Uticaj		Napor	
	C α	Rezultat	C α	Rezultat
Trasa auto-puta	0,784	Dobar	0,910	Odličan
Mostovi	0,946	Odličan	0,909	Odličan
Tuneli	0,877	Dobar	0,832	Dobar
Ugovorni	0,838	Dobar	0,948	Odličan
Ekonomski	0,895	Dobar	0,971	Odličan
Društveni	0,771	Dobar	0,867	Dobar
Ekološki	0,771	Dobar	0,938	Odličan
II deo upitnika	0,936	Odličan		
III deo upitnika			0,969	Odličan
Ukupno	0,963	Odličan		

Iz table se uočava da su vrednosti Kronbahovog koeficijenta α za sve kategorije zadovoljavajuće, tj. veće su od 0,7, što znači da se istraživanje može smatrati konzistentnim i pouzdanim. U ovom istraživanju, ukupan Kronbahov koeficijent α iznosio je 0,963, dok su

vrednosti za drugi i treći deo upitnika bile 0,936 i 0,969 respektivno i mogu se smatrati odličnim rezultatom (Alshihri i ostali, 2022).

5.3.3 Analiza saglasnosti percepcija ključnih učesnika na projektu

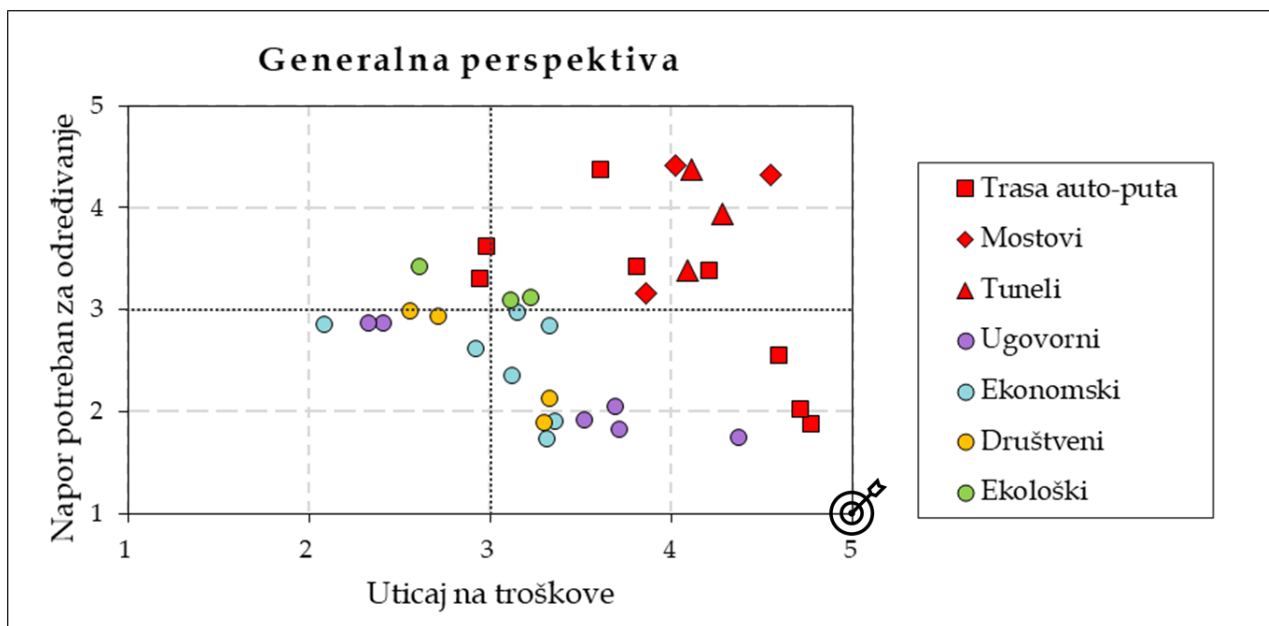
Kao što je objašnjeno u Poglavlju 5.2 , pomoću Spearman-ovog koeficijenta korelacije ranga testirana je saglasnost percepcija investitora i izvođača o nivou uticaja troškovnih parametara na troškove izgradnje auto-puteva, kao i o potrebnom nivou napora za određivanje vrednosti parametara za konkretni projekat. Rezultati Spearman-ovog neparametarskog testa ukazuju na dobar konsenzus između percepcija investitora i izvođača o stepenu uticaja troškovnih parametara ($r=0,753$). Takođe, uočeno je i da postoji relativno zadovoljavajući stepen slaganja o nivou uloženog napora ($r=0,579$).

Manja saglasnost percepcija investitora i izvođača o nivou napora potrebnom za određivanje vrednosti troškovno uticajnih parametara je očekivana s obzirom na to da predmetne grupe ispitanika nisu projektanti, a skoro polovina parametara iz ponuđene liste spada u kategorije koje su vezane za proces projektovanja. Iz rezultata se može zaključiti da ispitanici nisu u velikoj meri upoznati sa procesom projektovanja.

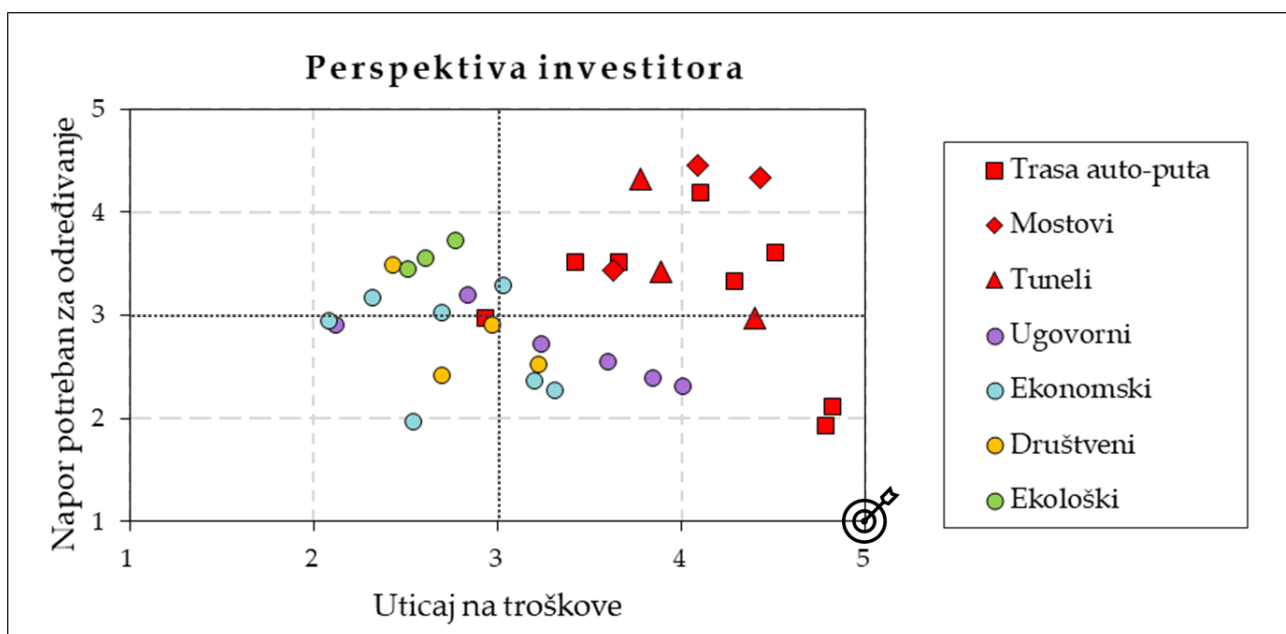
5.3.4 Percepcije ispitanika

Prosečne percepcije ispitanika iz analiziranih odgovora upitnika su prikazane na Slikama 32, 33 i 34. Tačke podataka predstavljaju troškovno uticajne parametre iz Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara, gde x -osa odgovara prosečnom percipiranom nivou uticaja na troškove izgradnje auto-puteva, a y -osa odgovara prosečnom percipiranom nivou napora potrebnom za utvrđivanje vrednosti parametara.

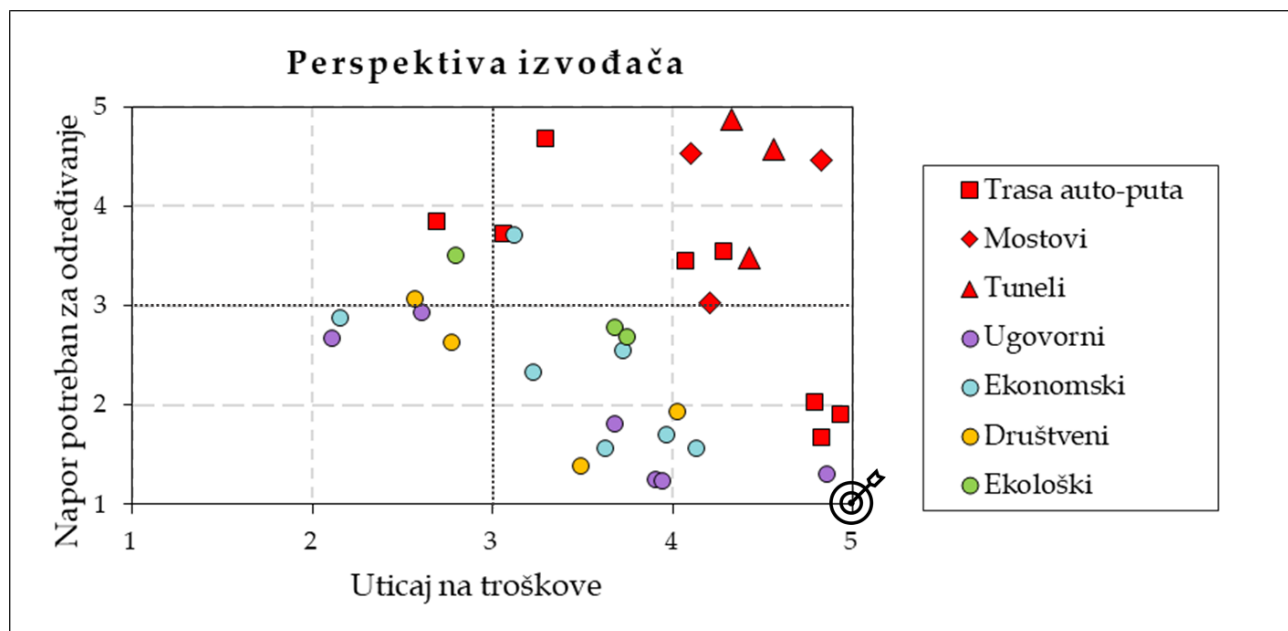
Kategorije troškovno uticajnih parametara su prikazane različitim bojama tačaka podataka. S obzirom na to da su Trasa-auto puta, Mostovi i Tuneli kategorije troškovno uticajnih parametara koje su vezane za proces projektovanja, njima je dodeljena ista boja (crvena), ali su prikazane različitim oblicima tačaka. Ovakav način prikazivanja podataka pruža bolje vizuelno prepoznavanje rezultata.



Slika 32. Rezultati percepcija ispitanika – generalna perspektiva.



Slika 33. Rezultati percepcija ispitanika – perspektiva investitora.



Slika 34. Rezultati percepcija ispitanika – perspektiva izvođača.

Rezultati percepcija ispitanika, u skladu sa različitim perspektivama, mogu se tumačiti na sledeći na način:

- Sva tri grafikona prikazana na Slikama 32, 33 i 34 pokazuju da troškovno uticajni parametri koji se odnose na proces projektovanja i projektna rešenja (tj. kategorije *Trasa auto-puta*, *Mostovi* i *Tuneli*) najvećim delom pripadaju gornjem desnom kvadrantu (veliki napor – veliki uticaj), dok druge kategorije troškovnih parametara nisu deo ovog kvadranta. Ovo se može tumačiti kao logičan rezultat imajući u vidu da priprema projekta zahteva utrošak značajne sume novca i da predstavlja dugotrajan proces (zahteva veliki napor), dok projektna rešenja imaju značajan uticaj na troškove izgradnje auto-puteva.
- Može se primetiti da troškovni parametri koji zauzimaju donji desni kvadrant, koji je i najpoželjniji (mali napor – veliki uticaj), u slučaju sve tri perspektive, uključuju samo tri parametra vezana za projektovanje. Ovi parametri opisuju tip terena, postojanje velikih značajnih objekata u sklopu trase auto-puta i broj tunelskih cevi. Ove promenljive eksperti mogu relativno lako utvrditi u ranim fazama razvoja projekta sa razumnom pouzdanošću. Preostali troškovno uticajni parametri iz ovog kvadranta pripadaju kategorijama *Ugovorni*, *Ekonomski* i *Društveni* i to je očekivano zbog činjenice da su javno dostupni (zahtevaju mali napor) i da mogu biti u velikoj korelaciji sa troškovima izgradnje (Mahdavian i ostali, 2021; Zhang i ostali, 2017).
- Sa stanovišta perspektive izvođača radova, u najpoželjnijem kvadrantu (mali napor – veliki uticaj), nalazi se šest troškovnih parametara više nego sa stanovišta perspektive investitora, što znači da su investitori ovih šest parametara ocenili sa većim naporom potrebnim za određivanje vrednosti parametara i manjim uticajem na troškove.

- Može se primetiti da, sa stanovišta perspektive investitora, veći broj troškovnih parametara (posebno onih koji pripadaju kategoriji *Ekološki*) zauzima gornji levi kvadrant (veliki napor – mali uticaj) u poređenju sa perspektivom izvođača radova. Ovo ukazuje na veću zabrinutost investitora u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine, a samim tim i na veći percipirani napor, ali i da su izvođači više zabrinuti zbog visokih troškova vezanih za ekološka pitanja.
- Kada se uporede percepcije investitora i izvođača radova, izvođači su ocenili ekonomske i ugovorne troškovne parametre sa većim nivoom uticaja i manjim nivoom napora. Najverovatnije objašnjenje za ovakve percepcije izvođača je da su bolje upoznati sa ovim kategorijama troškovnih parametara s obzirom na najčešće zastupljen tip ugovora koji se u poslednje vreme primenjuje u zemljama ispitanika.
- U skladu sa perspektivom izvođača, troškovno uticajni parametar koji je najbliži Idealnom troškovno uticajnom parametru (Slika 34) je C.4 *Postojanje klizne skale*. Izvođači su navedenom parametru dodelili veoma veliki uticaj u anketnom upitniku (što će biti pokazano u narednim tabelama). S obzirom na trenutne probleme sa velikim povećanjem cena resursa izazvanim pandemijom virusa COVID-19 i oružanim sukobom Rusije i Ukrajine, plaćanje izvedenih radova izvođaču je neadekvatno bez postojanja klizne skale na projektu. Dakle, to što su izvođači u ovom slučaju percipirali veliki uticaj na troškove je apsolutno logično, s obzirom na činjenicu da je anketni upitnik sproveden u decembru 2022. godine. Prethodne finansijske krize su takođe imale naročit uticaj na projekte putne infrastrukture (Nikolić i ostali, 2020).
- Konačno, može se primetiti da, u slučaju sve tri perspektive, svi troškovno uticajni parametri imaju prosečan percipirani uticaj veći od 2 (nizak uticaj) što ukazuje na to da su parametri u okviru Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara ispravno identifikovani jer nijedan parametar nije okarakterisan kao „bez uticaja ili sa veoma malim uticajem“.

Uzimajući u obzir navedena tumačenja, može se zaključiti da su troškovno uticajni parametri drugačije percipirani u skladu sa različitim perspektivama i da razmatranje samo generalne perspektive ne pruža uvid u značajnost pojedinih parametara. Investitori i izvođači imaju različite percepcije o ključnim troškovno uticajnim parametrima, što će biti potvrđeno i u daljem tekstu.

5.3.5 Rangiranje troškovno uticajnih parametara

Rangiranje troškovno uticajnih parametara je izvršeno na osnovu Euklidske udaljenosti od Idealnog troškovnog parametra, u skladu sa metodologijom opisanom u Poglavlju 5.2.4, na osnovu generalne perspektive, perspektive investitora i perspektive izvođača radova.

Rangiranja troškovno uticajnih parametara u skladu sa generalnom perspektivom su prikazani u Tabeli 20. Generalno posmatrano, na nivou celokupnog uzorka odgovora

ankete, ključni (prvorangirani) troškovno uticajni parametri su *Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*, *Postojanje klizne skale* i *Postojanje velikih značajnih objekata*. Ovi troškovni parametri su generalno percipirani sa velikim uticajem na troškove i malim naporom potrebnim za njihovo određivanje. Poslednje rangiran parametar je *Dužina mostova na petljama*, koji je ocenjen sa relativno velikim uticajem na troškove, ali i velikim naporom koji je potreban za njegovo određivanje, što ga čini poslednjim rangiranim troškovnim parametrom.

Jedan od ciljeva disertacije je bio da se uporede percepcije investitora i izvođača radova o ključnim troškovno uticajnim parametrima. Kako bi se ispunio postavljeni cilj, izvršena su rangiranja troškovnih parametara na osnovu dva podskupa odgovora ankete – perspektiva investitora i perspektiva izvođača. U Tabelama 21 i 22 su prikazana rangiranja troškovnih parametara na osnovu percepcija investitora i izvođača zasebno.

Rangiranja troškovnih parametara će u narednom poglavlju disertacije biti korišćena za razvoj modela za procenu troškova.

Tabela 20. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – generalna perspektiva.

Rang	Oznaka	Parametar	Prosečan percipirani uticaj	Prosečan percipirani napor	Euklidska udaljenost
1	HA.1	Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice	4,77	1,61	0,65
2	C.4	Postojanje klizne skale	4,47	1,58	0,79
3	HA.2	Postojanje velikih značajnih objekata	4,71	1,83	0,88
4	C.2	Tip ugovora	3,71	1,52	1,39
5	HA.8	Učešće tunela u dužini deonice	4,79	2,47	1,48
6	C.3	Vrsta tenderskog postupka	3,69	1,75	1,51
7	C.1	Planirano trajanje radova	4,11	2,32	1,59
8	EC.3	Prosečna bruto zarada u građevinarstvu	3,19	1,34	1,84
9	EC.1	Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)	3,36	1,91	1,87
10	S.1	Nivo korupcije	3,30	1,89	1,92
11	S.4	Stopa nezaposlenosti	3,03	1,43	2,02
12	EC.6	Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini	2,73	1,46	2,32
13	B.1	Najveća dužina mosta na deonici	3,86	3,16	2,44
14	EC.4	Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu	3,33	2,85	2,49
15	HA.7	Učešće mostova u dužini deonice	4,21	3,38	2,51
16	T.2	Najveća dužina tunela na deonici	4,09	3,39	2,56
17	EC.5	Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi	2,92	2,61	2,63
18	HA.6	Učešće otvorene trase u dužini deonice	3,80	3,42	2,70
19	EC.2	Promena cena dizel goriva	3,15	2,97	2,70
20	EN.2	Mere zaštite površinskih i podzemnih voda	3,22	3,12	2,77
21	EN.1	Mere zaštite od saobraćajne buke	3,11	3,09	2,82
22	S.3	Politička stabilnost	2,71	2,94	3,00
23	T.1	Broj tunelskih cevi	4,28	3,94	3,03
24	HA.5	Računska brzina	2,94	3,31	3,10
25	S.2	Indeks efektivnosti Vlade (brzina Vlade u rešavanju problema)	2,56	2,99	3,15
26	C.5	Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima	2,41	2,87	3,19
27	C.6	Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta	2,33	2,87	3,26
28	HA.3	Broj denivelisanih raskrsnica (petlji)	2,98	3,62	3,31
29	B.2	Velika visina stubova ekstremnih mostova	4,55	4,32	3,35
30	EN.3	Mere zaštite flore i faune	2,61	3,42	3,40
31	EC.7	Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda	2,08	2,86	3,46
32	T.3	Metoda iskopa tunela	4,11	4,37	3,49
33	B.3	Velika dužina raspona ekstremnih mostova	4,02	4,41	3,55
34	HA.4	Dužina mostova na petljama	3,61	4,37	3,65

Tabela 21. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – perspektiva investitora.

Rang	Oznaka	Parametar	Prosečan percipirani uticaj	Prosečan percipirani napor	Euklidska udaljenost
1	HA.1	Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice	4,78	1,93	0,96
2	HA.2	Postojanje velikih značajnih objekata	4,82	2,11	1,12
3	C.4	Postojanje klizne skale	4,01	2,31	1,64
4	C.3	Vrsta tenderskog postupka	3,84	2,39	1,81
5	T.1	Broj tunelskih cevi	4,40	2,97	2,06
6	C.2	Tip ugovora	3,60	2,55	2,09
7	EC.2	Promena cena dizel goriva	3,31	2,27	2,11
8	EC.1	Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)	3,20	2,36	2,26
9	S.1	Nivo korupcije	3,22	2,52	2,34
10	HA.7	Učešće mostova u dužini deonice	4,29	3,33	2,44
11	C.1	Planirano trajanje radova	3,24	2,72	2,46
12	EC.3	Prosečna bruto zarada u građevinarstvu	2,54	1,97	2,64
13	HA.8	Učešće tunela u dužini deonice	4,51	3,61	2,66
13	T.2	Najveća dužina tunela na deonici	3,89	3,42	2,66
15	S.4	Stopa nezaposlenosti	2,70	2,42	2,70
16	S.3	Politička stabilnost	2,97	2,91	2,79
16	B.1	Najveća dužina mosta na deonici	3,63	3,43	2,79
18	HA.6	Učešće otvorene trase u dužini deonice	3,66	3,51	2,85
19	HA.5	Računska brzina	2,93	2,98	2,86
20	HA.3	Broj denivelisanih raskrsnica (petlji)	3,42	3,51	2,97
21	EC.4	Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu	3,03	3,29	3,02
22	EC.5	Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi	2,70	3,03	3,07
23	C.5	Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima	2,84	3,20	3,08
24	HA.4	Dužina mostova na petljama	4,10	4,19	3,31
25	B.2	Velika visina stubova ekstremnih mostova	4,43	4,33	3,38
26	EC.6	Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini	2,32	3,17	3,45
27	C.6	Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta	2,12	2,91	3,46
28	EN.3	Mere zaštite flore i faune	2,51	3,45	3,49
28	EN.1	Mere zaštite od saobraćajne buke	2,61	3,55	3,49
30	EC.7	Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda	2,08	2,95	3,51
31	EN.2	Mere zaštite površinskih i podzemnih voda	2,77	3,72	3,52
32	T.3	Metoda iskopa tunela	3,78	4,32	3,54
33	B.3	Velika dužina raspona ekstremnih mostova	4,09	4,45	3,57
34	S.2	Indeks efektivnosti Vlade (brzina Vlade u rešavanju problema)	2,43	3,49	3,58

Tabela 22. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – perspektiva izvođača.

Rang	Oznaka	Parametar	Prosečan percipirani uticaj	Prosečan percipirani napor	Euklidska udaljenost
1	C.4	Postojanje klizne skale	4,93	1,30	0,31
2	HA.8	Učešće tunela u dužini deonice	4,78	1,67	0,71
3	HA.1	Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice	2,68	1,90	2,49
4	EC.3	Prosečna bruto zarada u građevinarstvu	3,29	1,57	1,80
5	HA.2	Postojanje velikih značajnih objekata	3,05	2,03	2,20
6	C.2	Tip ugovora	4,07	1,24	0,96
7	C.1	Planirano trajanje radova	4,28	1,26	0,76
8	EC.6	Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini	4,83	1,70	0,72
9	S.4	Stopa nezaposlenosti	4,21	1,94	1,23
10	EC.1	Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)	4,82	1,56	0,59
11	C.3	Vrsta tenderskog postupka	4,10	1,81	1,21
12	S.1	Nivo korupcije	4,32	1,38	0,78
13	EC.4	Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu	4,42	2,55	1,65
14	EN.2	Mere zaštite površinskih i podzemnih voda	4,56	2,68	1,74
15	B.1	Najveća dužina mosta na deonici	3,90	3,03	2,31
16	EC.5	Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi	3,94	2,33	1,70
17	EN.1	Mere zaštite od saobraćajne buke	3,68	2,78	2,22
18	T.2	Najveća dužina tunela na deonici	4,85	3,48	2,49
19	HA.6	Učešće otvorene trase u dužini deonice	2,10	3,46	3,80
20	HA.7	Učešće mostova u dužini deonice	2,60	3,55	3,50
21	S.2	Indeks efektivnosti Vlade (brzina Vlade u rešavanju problema)	3,63	2,64	2,14
22	C.6	Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta	3,12	2,94	2,70
23	S.3	Politička stabilnost	4,13	3,07	2,25
24	EC.2	Promena cena dizel goriva	3,72	3,72	3,00
25	EN.3	Mere zaštite flore i faune	3,22	3,51	3,08
26	C.5	Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima	3,96	2,67	1,97
27	HA.5	Računska brzina	2,15	3,73	3,94
28	EC.7	Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda	3,49	2,88	2,41
29	B.2	Velika visina stubova ekstremnih mostova	2,77	4,46	4,12
30	T.3	Metoda iskopa tunela	2,57	4,57	4,32
31	B.3	Velika dužina raspona ekstremnih mostova	4,02	4,53	3,66
32	HA.3	Broj denivelisanih raskrsnica (petlji)	3,68	3,85	3,14
33	T.1	Broj tunelskih cevi	3,75	4,87	4,07
34	HA.4	Dužina mostova na petljama	2,79	4,69	4,30

U Tabeli 23 je dat uporedni prikaz perspektiva investitora i izvođača na osnovu 10 prvorangiranih troškovnih parametara.

Tabela 23. Rangiranje troškovno uticajnih parametara – uporedni prikaz perspektiva investitora i izvođača.

Rang	Perspektiva investitora	Perspektiva izvođača
1	HA.1 Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice	C.4 Postojanje klizne skale
2	HA.2 Postojanje velikih značajnih objekata	HA.8 Učešće tunela u dužini deonice
3	C.4 Postojanje klizne skale	HA.1 Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice
4	C.3 Vrsta tenderskog postupka	EC.3 Prosečna bruto zarada u građevinarstvu
5	T.1 Broj tunelskih cevi	HA.2 Postojanje velikih značajnih objekata
6	C.2 Tip ugovora	C.2 Tip ugovora
7	EC.2 Promena cena dizel goriva	C.1 Planirano trajanje radova
8	EC.1 Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)	EC.6 Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini
9	S.1 Nivo korupcije	S.4 Stopa nezaposlenosti
10	HA.7 Učešće mostova u dužini deonice	EC.1 Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)

Uporedni prikaz perspektiva investitora i izvođača u vezi sa rangiranjem troškovno uticajnih parametara ukazuje na to da je među 10 prvorangiranih samo pet troškovnih parametara istih za obe perspektive. To su: *Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*, *Postojanje velikih značajnih objekata*, *Postojanje klizne skale*, *Tip ugovora* i *Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)*.

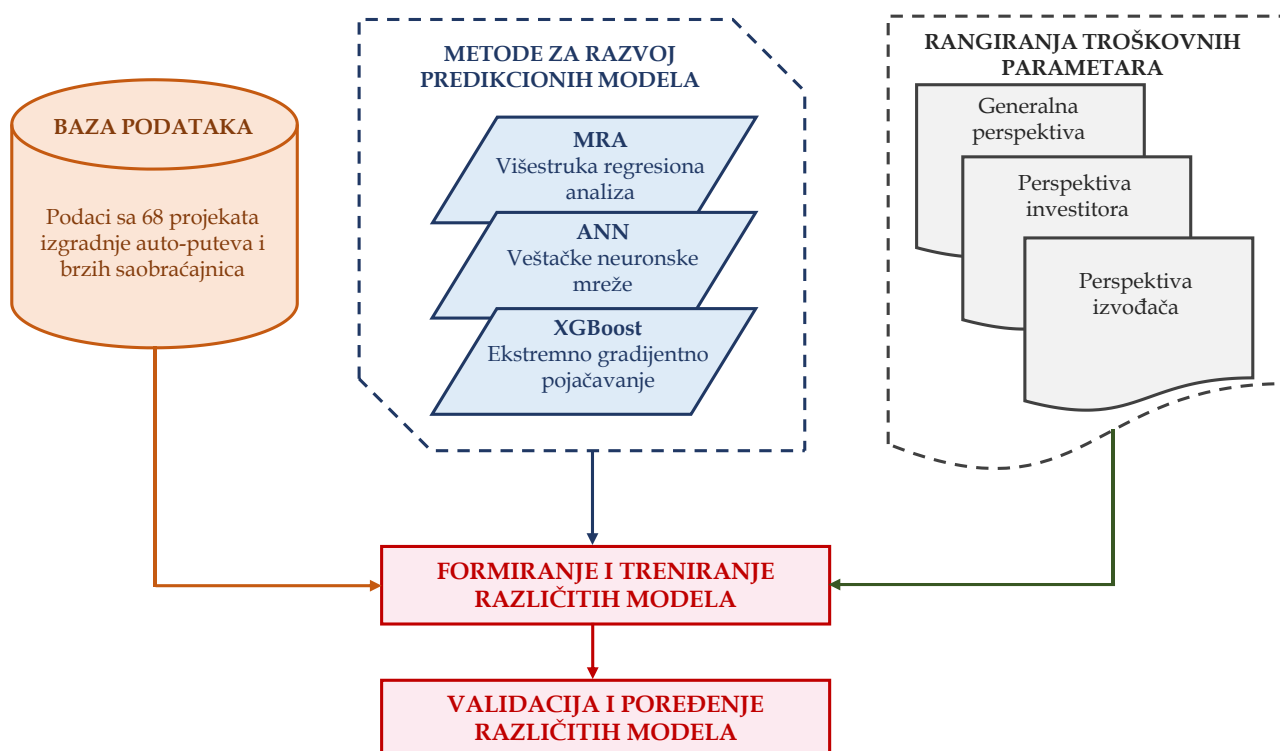
6. Modeliranje procene troškova

6.1 Uvod

Ovo poglavlje disertacije se bavi predlogom različitih modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta. Modeli su formirani imajući u vidu cilj procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, a to je postizanje zadovoljavajuće tačnosti predviđanja troškova uz minimalni potreban napor. Formirana baza podataka (Poglavlje 4), rezultati ankete i na osnovu nje formirane liste rangiranih troškovno uticajnih parametara (Poglavlje 5) i primena različitih tehnika mašinskog učenja su korišćeni za razvoj i validaciju različitih modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta i to iz različitih perspektiva (generalna perspektiva, perspektiva investitora i perspektiva izvođača) .

Početna faza formiranja modela za procenu troškova je priprema ulaznih podataka. Nakon toga su razmatrane tri metode za razvoj predikcionih modela - višestruka regresiona analiza (MRA), veštačke neuronske mreže (ANN) i ekstremno gradijentno pojačavanje (XGBoost). Na kraju su preuzeti rezultati rangiranja troškovno uticajnih parametara iz različitih perspektiva (generalna perspektiva, perspektiva investitora i perspektiva izvođača). Na osnovu svega napred navedenog, izvršeno je formiranje i treniranje modela uz postupno uvođenje jednog po jednog troškovno uticajnog parametra, a prema njihovom rangu.

Na Slici 35 je dat šematski prikaz komponenata za formiranje modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta.



Slika 35. Formiranje modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva.

6.2 Metodologija za formiranje modela procene troškova

6.2.1 Priprema podataka (*Feature engineering*)

Kako bi se kreirao adekvatan model mašinskog učenja koji će pružiti zadovoljavajuće performanse, potrebno je izvršiti prethodnu pripremu podataka. Priprema podataka (engl. *feature engineering*) podrazumeva proces selekcije, ekstrakcije i transformacije neobrađenih podataka u karakteristike koje služe kao ulazne promenljive modela u nadgledanom učenju. Namena *feature engineering*-a jeste da poboljša performanse modela mašinskog učenja tako što će se kreirati skup informativnih ulaznih podataka koji su relevantni za problem koji je u pitanju. Pored navedenog, prethodnom pripremom podataka se smanjuje prevelika podešenost (engl. *overfitting*), poboljšava interpretabilnost modela i može se smanjiti potrebno vreme za obuku modela.

Pod pripremom podataka se podrazumeva veći broj operacija nad prikupljenim podacima, kao što je ekstrakcija podataka, izbor ulaznih promenljivih modela, normalizacija podataka, identifikacija i eliminacija ekstremnih odstupanja (engl. *outlier*) itd. Najveći deo operacija u okviru pripreme podataka za potrebe razvoja modela za procenu troškova je izvršen u prethodnim fazama istraživanja prikazanim u Poglavlju 4 (Formiranje originalne baze podataka sa projekata izgradnje auto-puteva) i Poglavlju 5 (Određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara). U ovom poglavlju su prikazane sledeće operacije:

- Revalorizacija podataka;
- Enkodiranje kategoričkih podataka;
- Identifikacija ekstremnih odstupanja (outlier-a).

6.2.1.1 Revalorizacija podataka

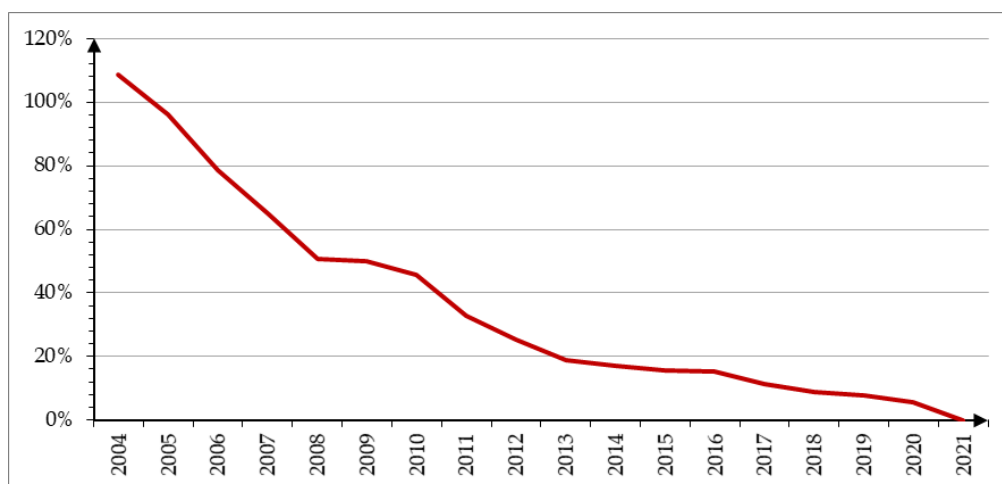
Imajući u vidu to da su projekti iz formirane baze podataka ugovoreni u različitim vremenskim trenucima, bilo je neophodno svesti podatke o troškovima na isti vremenski trenutak kako bi za različite projekte oni bili međusobno uporedivi.

Revalorizacijom ugovorenih cena se definiše razlika u vrednosti ugovorenih radova u odnosu na trenutak u kom se vrši procena troškova budućeg projekta izgradnje auto-puta. Odnosno, postupak revalorizacije definiše koliko je potrebno uvećati ili umanjiti cene kako bi se vrednosti svele sa svog baznog datuma (datum formiranja ugovorene cene za svaki projekat) na tekući datum.

Na većini prikupljenih i analiziranih ugovora je predviđena primena klizne skale koja podrazumeva indeksni pristup za revalorizaciju cena. U navedenim ugovorima su definisane formule za proračun koeficijenata kliznih skala (definisani su indeksi cena koje je potrebno primeniti prilikom revalorizacije, dati su izvori indeksa i težinski faktori za primenjene indekse). S obzirom na to da je ugovornom dokumentacijom uglavnom predviđen indeksni pristup za revalorizaciju cena, ovaj pristup je primenjen i za revalorizaciju cena u ovoj disertaciji. Kako su analizirani projekti ugovoreni u periodu od septembra 2004. do septembra 2021. godine, za tekući datum usvojena je sredina septembra 2021. godine.

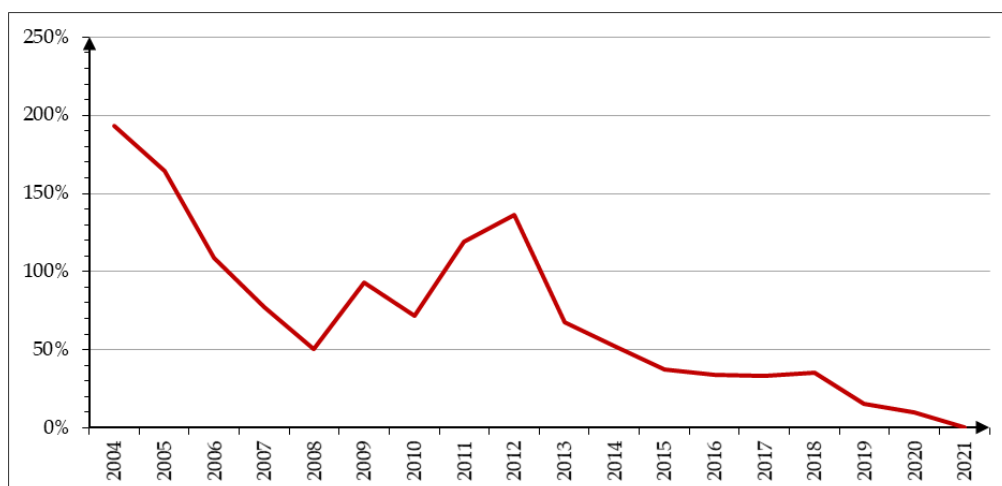
Koeficijenti revalorizacije od baznog datuma do tekućeg datuma su prikazani na narednim dijagramima za indekse koji su predviđeni u ugovorenim formulama za klizne skale. Pored predviđenih indeksa u formulama klizne skale, i vrednosti indeksa potrošačkih cena, kao pokazatelj opšte inflacije u zemlji, se u nekim slučajevima mogu koristiti za revalorizaciju ugovorenih cena od njihovog baznog datuma, te je stoga dat i dijagram koeficijenata revalorizacije na bazi kretanja indeksa potrošačkih cena. Osim toga, a s obzirom na to da su vrednosti ugovorenih radova za sve projekte konvertovane u EUR na osnovu srednjeg kursa na dan potpisivanja ugovora, vrednosti domaćih indeksa cena (koje se odnose na dinar) su korigovane (pomnožene) odnosom kursa EUR na bazni datum i kursa EUR na tekući datum.

Na Slici 36 je prikazan procentualni iznos promena (uvećanja/umanjenja) cena na godišnjem nivou na osnovu opšte inflacije, kako bi sve ugovorene vrednosti projekata bile revalorizovane na septembar 2021. godine. Sa slike se može zaključiti da je porast potrošačkih cena za analizirani skup projekata veoma izražen u periodu od 2004. do 2008. godine, nakon čega su promene cena na osnovu opšte inflacije značajno manje izražene.



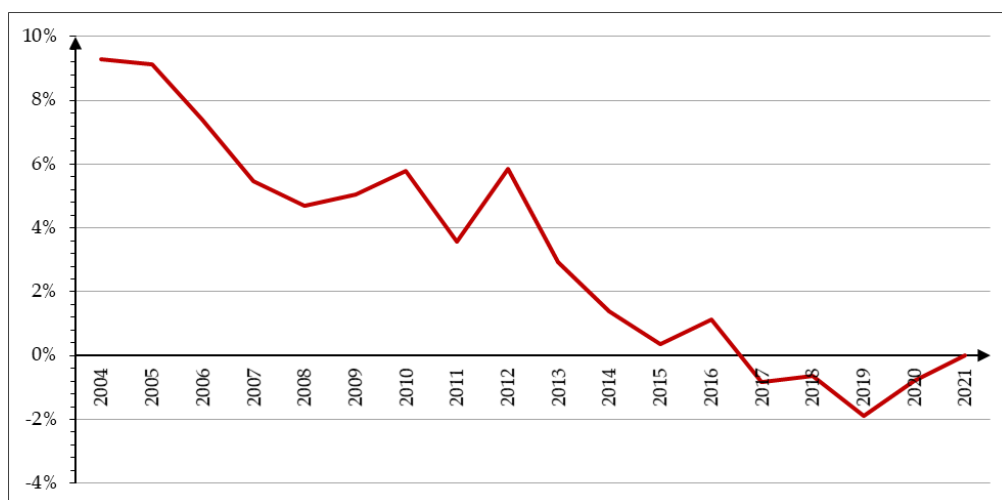
Slika 36. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom opšte inflacije (%).

Na Slici 37 su prikazane procentualne promene cena na osnovu indeksa cena radne snage (prosečne bruto zarade u građevinarstvu) za Srbiju za revalorizaciju na septembar 2021. godine. Sa slike se može uočiti da postoje veće oscilacije u procentualnim promenama cena (uvećanja/umanjenja) u odnosu na promene cena primenom indeksa potrošačkih cena.



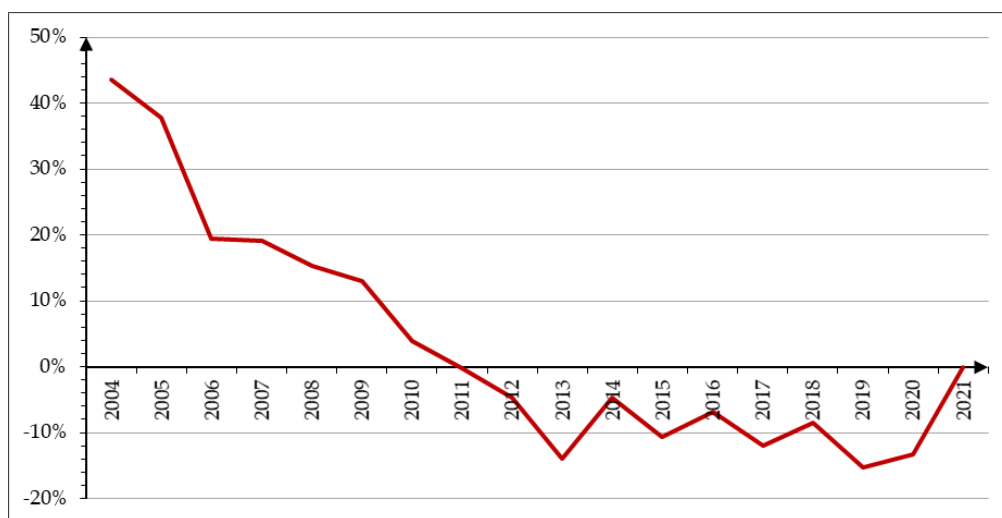
Slika 37. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom indeksa cena radne snage (prosečna bruto zarada u građevinarstvu) (%).

Na Slici 38 su predstavljene promene cena na godišnjem nivou za revalorizaciju ugovorenih vrednosti analiziranih projekata na septembar 2021. godine prema indeksu proizvođačkih cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu. Prosečna godišnja stopa promene cena za potrebe revalorizacije je 3,22%.



Slika 38. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom indeksa proizvođačkih cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu (%).

Na Slici 39 su dati procentualni iznosi promena (uvećanja/umanjenja) cena na godišnjem nivou na osnovu indeksa proizvođačkih cena za dizel goriva, kako bi sve ugovorene vrednosti projekata iz Srbije bile revalorizovane na septembar 2021. godine. Prosečna godišnja stopa promene cena na osnovu indeksa cena za dizel goriva iznosi 3,44%.



Slika 39. Promena cena za revalorizaciju na septembar 2021. primenom indeksa proizvođačkih cena za dizel goriva (tečna goriva i maziva) (%).

6.2.1.2 Enkodiranje kategoričkih podataka

Podaci kao što su visina stubova mostova, dužina mostova na petljama ili računaska brzina jesu numerički podaci koji se, kao takvi, mogu direktno uključiti u model. Međutim, za razliku od numeričkih podataka, podaci kao što su vrsta tenderskog postupka, metoda iskopa tunela ili tip terena, predstavljaju podatke koji se ne mogu proslediti u model u postojećem obliku, već je potrebno izvršiti njihovu transformaciju u numeričke podatke koji se mogu uključiti u model (enkodiranje pre uključivanja u model). Ovakvi podaci koji se ne mogu direktno uključiti u model jesu kategorički podaci.

Pod enkodiranjem podataka se podrazumeva proces transformacije podataka iz jednog formata u drugi. U domenu mašinskog učenja, pod enkodiranjem se podrazumeva transformacija kategoričkih podataka u numeričke podatke koji se mogu proslediti u model.

Od ukupno 34 parametra iz konačne Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara, 11 parametara su promenljive sa kategoričkim vrednostima koje je potrebno enkodirati. Za kategoričke podatke koji mogu imati samo dve vrednosti, kao što su učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta (da ili ne) ili postojanje klizne skale (da ili ne), izvršeno je binarno enkodiranje tako što je vrednost 1 odgovarala kategoričkoj vrednosti „da“, a vrednost 0 je podrazumevala „ne“. Način enkodiranja kategoričkih parametara koji se mogu svesti na dve vrednosti je objašnjen u Tabeli 24.

Tabela 24. Enkodiranje kategoričkih parametara.

Oznaka	Naziv parametra	Objašnjenje
HA.2	Postojanje velikih značajnih objekata	Binarna promenljiva koja ima vrednost 1 ako postoje veliki značajni objekti; u suprotnom, vrednost je 0
T.3	Metoda iskopa tunela	Promenljiva uzima vrednost 1 u slučaju mehanizovanog iskopa; u slučaju konvencionalnih metoda iskopa uzima vrednost 0
C.2	Tip ugovora	Promenljiva ima vrednost 1 u slučaju ugovora tipa "žuti FIDIC"; u suprotnom, ako je ugovor tipa "crveni FIDIC", vrednost je 0
C.3	Vrsta tenderskog postupka	Promenljiva ima vrednost 1 u slučaju pregovaračkog postupka ili vrednost 0 u slučaju ICB procedure
C.4	Postojanje klizne skale	Binarna promenljiva koja ima vrednost 1 ako je predviđena primena klizne skale; u suprotnom, vrednost je 0
C.5	Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima	Promenljiva ima vrednost 1 ukoliko se projekat finansira zajmovima ili grantovima; u suprotnom, ima vrednost 0 ako se finansira iz državnog budžeta
C.6	Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta	Binarna promenljiva koja ima vrednost 1 ukoliko u finansiranju učestvuje više međunarodnih finansijskih institucija; u suprotnom, vrednost je 0
EN.1	Mere zaštite od saobraćajne buke	Binarna promenljiva koja uzima vrednost 1 ako je predviđena izgradnja zvučnih barijera; u suprotnom, vrednost je 0
EN.2	Mere zaštite površinskih i podzemnih voda	Promenljiva ima vrednost 1 u slučaju drenažnog sistema zatvorenog tipa ili vrednost 0 u slučaju otvorenog tipa

Oznaka	Naziv parametra	Objašnjenje
EN.3	Mere zaštite flore i faune	Promenljiva uzima vrednost 1 ako postoji potreba za izgradnjom objekata za ovu posebnu namenu; u suprotnom, ukoliko mere zaštite podrazumevaju već planirane elemente duž trase, vrednost je 0

Za kategoričke parametre koji se mogu svesti na dve vrednosti, kao što je prikazano, moguće je jednostavno izvršiti binarno enkodiranje. Međutim, tip terena, kao promenljiva koja može imati veći broj različitih kategoričkih vrednosti, ne može se jednostavno enkodirati jer se postavlja pitanje kako im dodeliti numeričke vrednosti. U ovom slučaju su različiti tipovi terena prikazani kao kolone, a numeričke vrednosti koje su im dodeljene predstavljaju učešće određenog tipa terena u ukupnoj dužini deonice i mogu se kretati između 0 i 1. U Tabeli 25 su prikazani primeri enkodiranja parametra koji definiše tip terena.

Tabela 25. Primer enkodiranja kategoričkog parametra koji definiše tip terena.

Tip terena	Ravničarski	Brdovit	Planinski
Ravničarski	1	0	0
Brdovit	0	1	0
Planinski	0	0	1
Brdovito-planinski	0	1/2	1/2
Ravničarsko-brdovit	1/2	1/2	0
2/3 brdovit i 1/3 planinski	0	2/3	1/3

6.2.1.3 Identifikacija ekstremnih odstupanja (outlier-a)

U skupu podataka se iz različitih razloga (npr. greške u merenju ili unosu podataka) mogu pojaviti podaci koji značajno odstupaju od ostalih podataka iz skupa. U mašinskom učenju se ovakvi podaci nazivaju ekstremnim odstupanjima (engl. *outliers*) i mogu imati značajan uticaj na performanse modela, tako da je njihova identifikacija od izuzetne važnosti za postizanje odgovarajuće tačnosti predviđanja. Podaci koji predstavljaju *outlier*-e se mogu identifikovati na različite načine, manuelno ili primenom određenih metoda. Nakon identifikacije, ekstremna odstupanja se eliminišu iz skupa podataka ili se njihov uticaj umanjuje primenom odgovarajućih transformacija.

S obzirom na to da je skup prikupljenih podataka u formiranoj bazi relativno mali, identifikacija ekstremnih odstupanja je izvršena manuelno, vizuelizacijom grafikona koji prikazuju raspodelu podataka. Vizuelizacijom je identifikovano da podaci sa tri projekta (od ukupno 68 analiziranih projekata) sadrže *outlier*-e i ovi projekti su eliminisani iz baze

podataka. Razvoj i validacija modela su, stoga, izvršeni na osnovu 65 projekata izgradnje auto-puteva ili brzih saobraćajnica sadržanih u kreiranoj bazi podataka.

6.2.2 Metode za razvoj predikcionih modela

U Poglavlju 2 – Pregled literature je prikazano da su prethodne studije koristile različite metode za razvoj modela za procenu troškova. Kao najčešće korišćene tehnike za razvoj modela za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata (Slika 12), izdvajaju se metoda višestruke statističke regresije (MRA) i veštačke neuronske mreže (ANN). Iz navedenog razloga su ove metode izabrane kao polazna tačka za razvoj modela za procenu troškova u ovoj disertaciji.

Pored toga, u disertaciji se predlažu modeli za procenu troškova bazirani na metodi ekstremnog gradijentnog pojačavanja (XGBoost). Prema saznanju autora disertacije, XGBoost nije do sada testiran u primeni za razvoj modela za procenu troškova projekata putne infrastrukture. U nastavku su dati kratki opisi metoda koje se koriste za razvoj modela.

6.2.2.1 Višestruka regresiona analiza (MRA)

Višestruka regresiona analiza (engl. *Multiple Regression Analysis*, u daljem tekstu MRA) je statistička metoda koja je opšte prihvaćena u istraživanjima koja se bave procenom troškova putnih infrastrukturnih projekata (Mahamid, 2011; Cirilovic i ostali, 2013; Wilmot i Cheng, 2003). MRA predstavlja proširenje jednostavne linearne regresije koja modelira odnos između jedne zavisne i jedne nezavisne promenljive. Za razliku od jednostavne linearne regresije, MRA omogućava analizu odnosa između zavisne promenljive i dve ili više nezavisnih promenljivih istovremeno, što model čini preciznijim i sveobuhvatnijim.

U praktičnoj primeni, MRA se koristi za potrebe predikcije, npr. za procene troškova. Ali MRA može, takođe, pomoći istraživačima pri identifikovanju značajnih promenljivih, kao i za testiranje hipoteza o korelaciji između različitih promenljivih.

Opšti oblik MRA modela se prikazuje sledećom regresionom jednačinom:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (6)$$

gde je:

Y – zavisna promenljiva;

β_0 – regresiona konstanta;

X_1, X_2, \dots, X_k – nezavisne promenljive;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ – regresioni koeficijenti nezavisnih promenljivih;

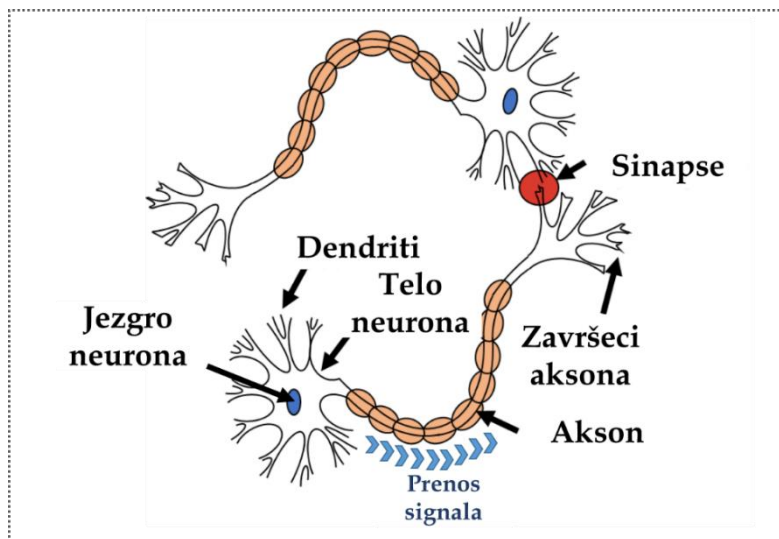
ε – vrednost greške.

6.2.2.2 Veštačke neuronske mreže (ANN)

Veštačke neuronske mreže (engl. *Artificial Neural Networks*, u daljem tekstu ANN) predstavljaju vrstu modela mašinskog učenja koja se bazira na oponašanju bioloških neuronskih mreža sadržanih u ljudskom mozgu. S obzirom na to da su ANN sposobne da nauče složene obrasce, da donose zaključke na osnovu ograničenih podataka i da vrše predviđanja na osnovu novih podataka, stekle su široku popularnost. Njihova popularnost u primeni u upravljanju projektima u građevinarstvu ima trend stalnog porasta u poslednjih 30 godina (Boussabaine, 1996; Liu i ostali, 2021), gde je jedan od najučestalijih problema kod kog se ova metoda primenjuje – procena troškova u građevinarstvu.

Osnovni gradivni elementi ANN-a jesu veštački neuroni organizovani u međusobno povezane slojeve: ulazni sloj, jedan ili više skrivenih slojeva i izlazni sloj. Veštački neuroni inspirisani su biološkim neuronima. Biološki neuron se sastoji iz ulaznog dela ćelije, tela ćelije, izlaznog dela ćelije i sinapse. Ulazni deo ćelije biološkog neurona čine mala razgranata vlakna koja se nazivaju dendriti. Preko dendrita, biološki neuron prima ulazne signale od drugih neurona. Ulazni signali se obrađuju u telu ćelije, gde jezgro neurona proizvodi izlazni signal. Izlazni signal nosi akson, koji predstavlja izlazni deo ćelije. Mesta gde se dodiruju akson i dendriti nekih drugih ćelija se nazivaju sinapse. Sinapse predstavljaju mesta na kojima se prenose signali od jednog do drugog neurona. (Peško, 2013).

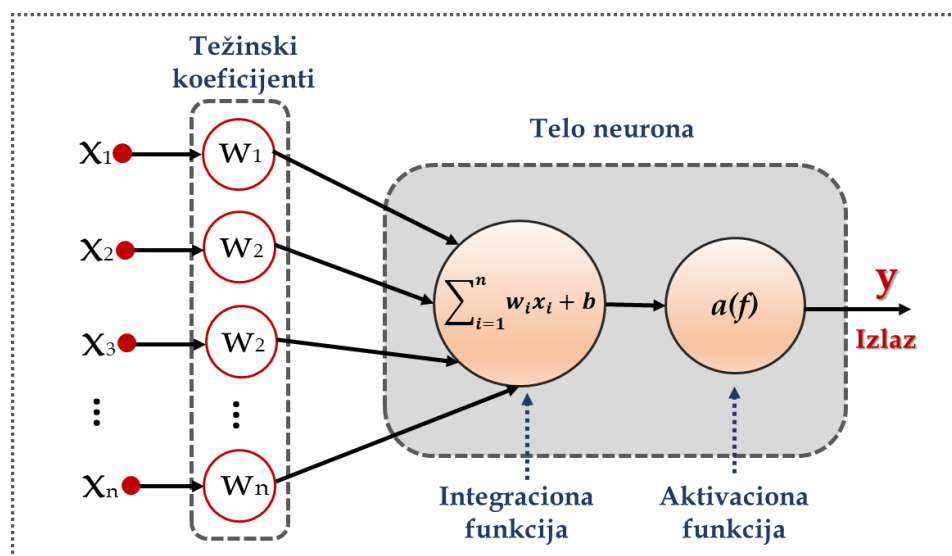
Na Slici 40 je prikazana struktura biološkog neurona.



Slika 40. Struktura biološkog neurona (modifikovano iz (Maheshwari i ostali, 2022)).

Analogija između biološkog nervnog sistema i veštačkih neuronskih mreža i način funkcionisanja ANN su prikazani na Slici 41. Veštački neuron prima ulaze (x_1, x_2, \dots, x_n) od drugih neurona, obrađuje ih kroz aktivacionu funkciju i prosleđuje izlaz sledećem sloju neurona. Ulazi i neuroni su povezani težinskim koeficijentima (w_1, w_2, \dots, w_n) koji reprezentuju nivo važnosti svakog ulaza. Tokom procesa obuke neuronskih mreža, težinski

koeficijenti se prilagođavaju kako bi se minimizirala greška između predviđenih i stvarnih vrednosti ciljane promenljive. Ovaj proces se naziva učenje.



Slika 41. Struktura veštačkog neurona.

Neuron se sastoji od dve matematičke funkcije (integraciona i aktivaciona funkcija). Integraciona funkcija $f(x)$ najčešće ima linearni oblik, ali može imati i druge oblike, kao što su kvadratni ili sferični oblik. Integraciona funkcija linearnog oblika formira izlaz („neto ulaz“) kao ponderisan zbir ulaza i može se prikazati na sledeći način:

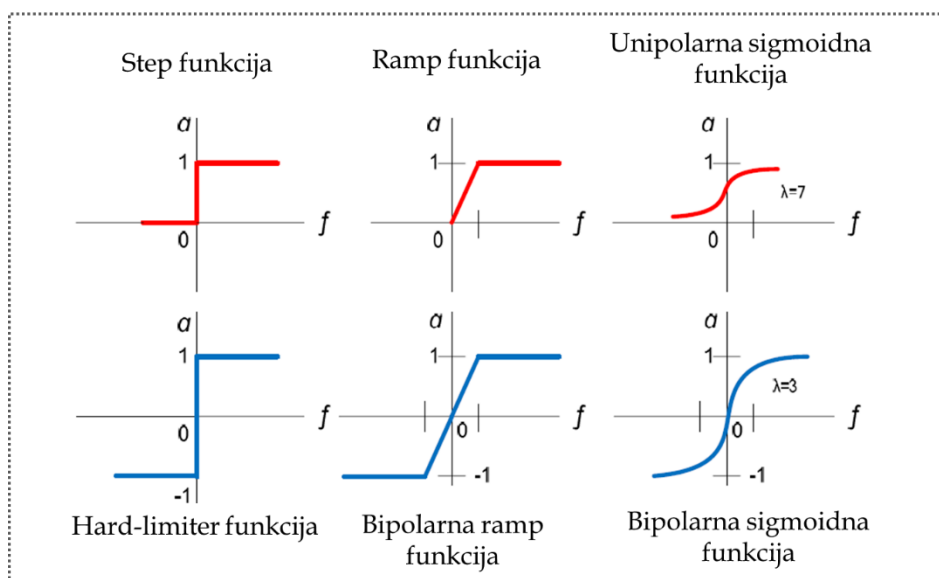
$$f(x) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b \quad (7)$$

gde je:

- $f(x)$ – integraciona funkcija;
- w_i – težinski koeficijent ulaza x_i ;
- b – jedinica pristrasnosti.

Težinski koeficijenti i jedinica pristrasnosti se nazivaju parametrima modela neuronskih mreža i njihova optimalna vrednost se određuje prilikom procesa učenja (obučavanja) neuronskih mreža.

Drugi izlazni deo neurona obuhvata transformaciju „neto ulaza“ u aktivirajuću ili inhibirajuću vrednost neurona primenom aktivacione funkcije $a(f)$. Aktivaciona funkcija može imati različite nelinearne oblike, kao što su (Slika 42): step funkcija, ramp funkcija, unipolarna sigmoidna funkcija, hard-limiter funkcija, bipolarna ramp funkcija i bipolarna sigmoidna funkcija. (Peško, 2013)



Slika 42. Oblici aktivacionih funkcija (Peško, 2013).

Aktivaciona funkcija uvodi nelinearnosti u model, što pruža mogućnost modelu da nauči složene odnose između ulaza i izlaza. Većina odnosa između podataka iz stvarnog sveta je nelinearna. Aktivaciona funkcija $a(f)$ se primenjuje na $f(x)$ kako bi se dobio izlaz y , tako da se opšti oblik veštačkog neurona može prikazati kao:

$$y = a \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b \right) \quad (8)$$

Kao što je ranije navedeno, određivanje parametara modela (težinskih koeficijenata i jedinice pristrasnosti) se vrši iterativnim postupkom tokom procesa treniranja modela. Treniranje ANN modela podrazumeva sledeće korake:

1. Inicijalizacija: Proizvoljno dodeljivanje vrednosti parametrima modela neuronskih mreža.
2. Kretanje unapred: Provođenje ulaznih podataka kroz ANN i sračunavanje izlaza neurona koristeći trenutne težinske koeficijente, jedinicu pristrasnosti i aktivacionu funkciju.
3. Sračunavanje greške: Određivanje razlike između procenjenih i stvarnih vrednosti ciljne promenljive.
4. Propagiranje greške unazad: Korigovanje težinskih koeficijenata i jedinice pristrasnosti kako bi se minimizirala greška predviđanja. Težine i pristrasnost se najčešće koriguju tako što se sračuna gradijent greške u odnosu na svaku težinu i pristrasnost i parametri se prilagođavaju u skladu sa njim.
5. Iteracija: Koraci 2, 3 i 4 se ponavljaju za unapred određen broj epoha ili dok greška predviđanja ne dostigne zadovoljavajući nivo.

6.2.2.3 Ekstremno gradijentno pojačavanje (XGBoost)

Ekstremno gradijentno pojačavanje (engl. *eXtreme Gradient Boosting*, u daljem tekstu XGBoost) jeste nedavno razvijen algoritam mašinskog učenja koji je zasnovan na stablima odlučivanja (engl. *decision tree*) sa gradijentnim pojačavanjem. XGBoost je razvijen od strane Tianqi Chen-a i stekao je veliku popularnost zbog svojih izuzetnih performansi na različitim takmičenjima iz oblasti mašinskog učenja.

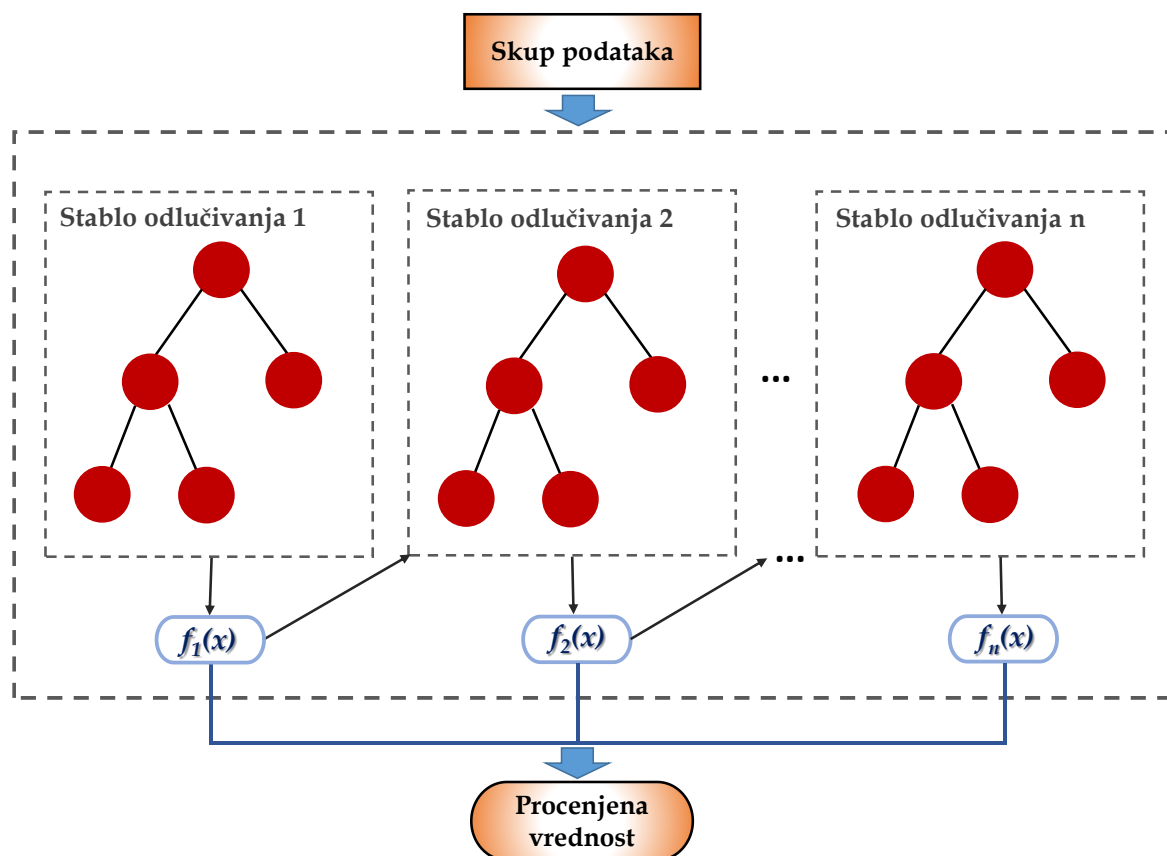
XGBoost se naširoko koristi zbog svoje jednostavne upotrebe, efikasnosti, pouzdanosti, fleksibilnosti i sposobnosti rada sa nedostajućim podacima. Takođe, do sada je upotrebljavan na širokom spektru problema. Prema Chen i Guestrin (2016), najvažniji faktor iza uspešnosti XGBoost-a pri različitim problemima je njegova skalabilnost u svim scenarijima i do deset puta veća brzina od prethodnih popularnih tehnika. Dodatno, XGBoost ima široku primenu i zbog minimalnih zahteva za prethodnom pripremom podataka. Pored toga, u poređenju sa metodama dubokog mašinskog učenja, XGBoost je prepoznat kao jednostavniji za upotrebu sa manjim skupovima podataka (Dong i ostali, 2020). Opisane prednosti ovog algoritma su bile motiv za testiranje njegove primene za razvoj modela za procenu troškova u ovoj disertaciji.

U domenu upravljanja projektima u građevinarstvu, XGBoost je korišćen u većem broju različitih studija. Na primer, Shehadeh i ostali (2021) su ispitivali potencijal predviđanja rezidualne vrednosti teške građevinske opreme korišćenjem XGBoost regresije. Pored drugih ML algoritama, Bai i ostali (2019) su koristili XGBoost za razvoj modela za predviđanje učinka usisnog bagera, što je rezultiralo boljim efektima predviđanja nego što su dali drugi ML algoritmi. Koc i ostali (2021) su, na osnovu skupa podataka o nesrećama na građevinskim projektima u Turskoj, koristili XGBoost integrisan sa genetskim algoritmima kako bi predvideli status invalidnosti građevinskih radnika nakon nesreće. Alshboul i ostali (2022) su razvili XGBoost model za predviđanje troškova izgradnje zelenih zgrada, kao alat za podršku odlučivanju za odabir najboljeg ponuđača.

XGBoost predstavlja ansambl metodu mašinskog učenja. Ansambl učenje podrazumeva kombinovanje prediktivnih moći većeg broja modela kako bi se kreirao jedan model koji pruža agregirani izlaz iz nekoliko modela. XGBoost se bazira na naprednoj implementaciji principa klasičnog gradijentnog pojačavanja. Gradijentno pojačavanje podrazumeva iterativno obučavanje niza modela, pri čemu svaki model koriguje greške koje su napravili prethodni modeli.

Izgradnja XGBoost modela (Slika 43) počinje sa jednim, početnim, stablom odlučivanja. Početno stablo pruža procenjenu vrednost na osnovu skupa podataka za obuku. Poređenjem procenjenih i stvarnih vrednosti se sračunava greška (funkcija gubitka) predviđanja početnog stabla odlučivanja. Nakon toga, formira se naredno stablo odlučivanja kako bi se korigovala greška prethodnog modela. XGBoost model dalje podrazumeva sukcesivnu izgradnju narednih stabala odlučivanja, gde se svako sledeće stablo formira fitovanjem modela na grešku prethodnog stabla.

Gradijentno pojačavanje, kao osnova XGBoost modela, podrazumeva kreiranje narednih stabala sa ciljem umanjenja funkcije gubitka tako što se novo stablo definiše na osnovu negativnog gradijenta funkcije gubitka prethodnog stabla. Konačna vrednost izlazne promenljive XGBoost modela $f(x)$ se dobija sumiranjem predviđanja svih stabala odlučivanja koji su ponderisani stopama učenja. Stope učenja, pored toga što kontrolišu doprinos svakog stabla, pomažu i u sprečavanju prevelike podešenosti (engl. *overfitting*). Iterativni postupak gradijentnog pojačavanja traje sve dok se ne postigne unapred postavljeni kriterijum za prekid, kao što je minimalna vrednost poboljšanja performansi modela, ili unapred predviđeni broj iteracija (stabala odlučivanja).



Slika 43. Struktura XGBoost modela.

Opšti oblik XGBoost modela može se prikazati kao:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot f_i(x) \quad (9)$$

gde je:

$f(x)$ – konačna vrednost izlazne promenljive;

n – ukupan broj stabala odlučivanja;

ρ_i – težinski koeficijent koji pripada stablu odlučivanja i ;

$f_i(x)$ – izlazna vrednost i -tog stabla odlučivanja.

Detaljnija objašnjenja XGBoost metode mogu se pronaći u (Chen i Guestrin, 2016).

6.2.3 Proces modeliranja

Kako bi se ispunili postavljeni ciljevi ove faze istraživanja, u disertaciji je predložen veći broj različitih modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta. Na osnovu svega napred navedenog, izvršeno je formiranje i treniranje tri grupe modela (MRA, ANN i XGBoost), u okviru kojih su, uz postupno uvođenje jednog po jednog troškovnog parametra, a prema njihovom rangu, definisani pojedinačni modeli.

S obzirom na to da se kreira veći broj modela, potrebno je definisati proceduru modeliranja, tako da se svi modeli kreiraju pri jednakim uslovima.

Prvi zadatak u okviru procesa formiranja modela jeste definisanje izlazne (ciljne) promenljive modela. Kao što je objašnjeno u Poglavlju 4, analizirani skup podataka obuhvata projekte izgradnje auto-puteva punog profila ili polu profila, kao i brze saobraćajnice. To znači da analizirani projekti podrazumevaju kolovoze različitih širina. Iz navedenog razloga, a radi lakše uporedivosti među projektima, predviđeno je da izlazna promenljiva modela budu jedinični troškovi izgradnje auto-puteva po površini kolovoza (EUR/m²).

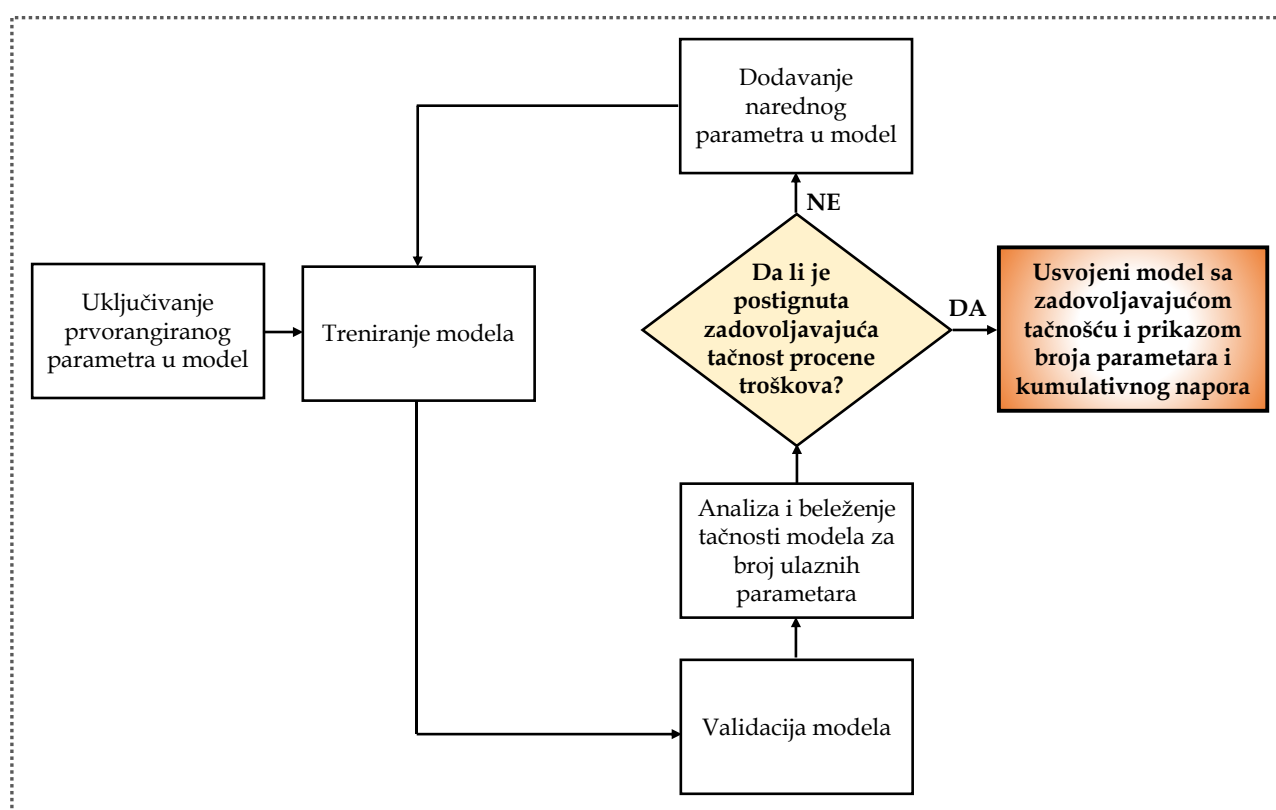
Nakon definisanja izlazne promenljive modela, potrebno je definisati skup ulaznih promenljivih. Skup potencijalnih ulaznih promenljivih, tj. troškovno uticajnih parametara je već razmatran u okviru prethodnog poglavlja. Formirana je Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara i parametri su rangirani u skladu sa percepcijama investitora i izvođača, a takođe i sa generalnom percepcijom (u Poglavlju 5 detaljno prikazano).

Kada je u pitanju način izgradnje modela, tj. uključivanja troškovno uticajnih parametara u model, razmatrano je više opcija. Imajući u vidu cilj procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, u ovom istraživanju je usvojen postepen (engl. *gradual*) pristup izgradnji većeg broja modela. Neka od prethodnih istraživanja su, takođe, primenjivala slične pristupe izgradnji modela (Karaca i ostali, 2020; Gardner i ostali, 2016), koji se zasnivaju na principima tzv. postepenog napredovanja (engl. *forward stepwise*) u kreiranju modela za procenu troškova u građevinarstvu (Petroutsatou i ostali, 2006; Lowe i ostali, 2006).

Postepeni pristup izgradnji većeg broja modela za procenu troškova je šematski prikazan na Slici 44. Kreiranje i validacija modela se vrši na osnovu formirane baze podataka (Poglavlje 4), primenom prethodno opisanih metoda, postepenim uključivanjem parametara, a u skladu sa rangiranjima troškovno uticajnih parametara prema tri različite perspektive (Poglavlje 5).

Prvi kreirani model za svaku od grupa modela sadrži samo jednu ulaznu promenljivu – prvorangirani troškovno uticajni parametar (parametar najbliži Idealnom troškovno

uticajnom parametru) i predstavlja najjednostavniji model koji zahteva najmanji nivo napora za procenjivanje troškova. Svaki naredni model se kreira postepenim uključivanjem dodatnih parametara (jedan po jedan) u skladu sa rangiranjima troškovno uticajnih parametara prema različitim perspektivama. Za svaki model se vrši validacija i određuju pokazatelji na osnovu kojih je moguće izvršiti poređenje različitih modela (opisani u nastavku teksta). Parametri se dodaju u modele sve dok se ne postigne zadovoljavajuća tačnost procene troškova uz mali kumulativni napor. Opisana procedura za kreiranje modela se primenjuje za sve tri perspektive (generalna perspektiva, perspektiva investitora, perspektiva izvođača) i korišćenjem tri različite metode za razvoj grupa modela (MRA, ANN i XGBoost).



Slika 44. Procedura formiranja modela.

Svi modeli su implementirani koristeći scikit-learn, popularnu biblioteku specijalizovanu za mašinsko učenje u programskom jeziku Python. Ovakav pristup implementaciji modela se pokazao uspešnim i u prethodnim istraživanjima vezanim za procenu troškova u građevinarstvu (Simić i ostali, 2021). Dostupnost, jednostavnost za upotrebu, fleksibilnost, efikasnost i širok spektar algoritama čine scikit-learn veoma pogodnom bibliotekom za rešavanje različitih problema mašinskog učenja.

Pre početka procesa obuke, tj. treniranja modela, se definišu hiperparametri modela. Hiperparametri definišu arhitekturu i ponašanje modela tokom procesa obuke i mogu imati značajan uticaj na performanse modela mašinskog učenja. Za razliku od hiperparametara,

koji se postavljaju pre početka procesa obuke, parametri modela su vrednosti koje model uči tokom samog procesa obuke.

MRA modeli su implementirani korišćenjem *LinearRegression* klase modela, sa podrazumevanim skupom hiperparametara.

Klasa modela *MLPRegressor* je korišćena za razvoj ANN modela, sa hiperparametrom za parametar rešavača (engl. *solver parameter*) podešenim na „lbfgs“. Parametar rešavača (*solver parameter*) definiše parametar koji se koristi za optimizaciju težinskih koeficijenata unutar mreže. „Lbfgs“ je robustan rešavač za višeslojne perceptrone (neuronske mreže), koji koristi aproksimaciju Hesijanove (engl. *Hessian*) matrice za optimizaciju težinskih koeficijenata, što ga čini pogodnim za manje skupove podataka (što je slučaj sa podacima u ovom istraživanju) jer je manje sklon prevelikoj podešenosti. Svi ANN modeli su imali ista podešavanja slojeva:

- m neurona u ulaznom sloju, gde je m broj parametara korišćenih za treniranje tog modela;
- jedan skriven sloj sa 100 neurona;
- jedan neuron u izlaznom sloju.

Konačno, XGBoost modeli su implementirani pomoću klase modela *HistGradientBoostingRegressor*. Modeli su inicijalizovani sa sledećim hiperparametrima:

- *learning_rate* = 1 - kontroliše smanjenje veličine koraka korišćenog u iteracijama kako bi se sprečilo preprilagođavanje;
- *max_iter* = 100 - broj iteracija u procesu pojačavanja;
- *min_samples_leaf* = 2 - minimalni potreban broj uzoraka u čvoru lista (koristi se za regularizaciju modela i sprečavanje prevelike podešenosti, što je naročito korisno za manje skupove podataka).

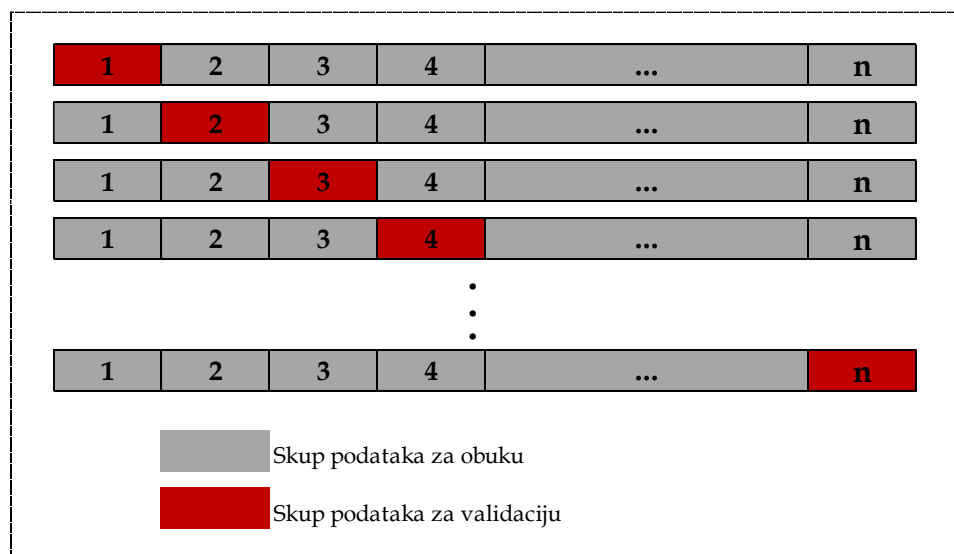
Server na kome su kreirani modeli u ovoj disertaciji sadrži sledeće karakteristike:

- Procesor: Intel® Core™ i3-10100F CPU @ 3.60GHz × 4;
- Grafička kartica: NVIDIA GP107 (GeForce GTX 1050 Ti), 4GB video memorija GPU i 32 GB RAM memorija.

6.2.4 Ocena performansi, validacija i poređenje modela

S obzirom na prirodu projekata koji su tema ove disertacije (projekti izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica), koju prate poteškoće u obezbeđenju većeg broja primeraka za analizu, skup podataka koji se analizira u ovoj disertaciji se na osnovu literature iz oblasti mašinskog učenja može okarakterisati kao mali, ili oskudni, skup podataka (Mišković, 2008). Leave-one-out metoda unakrsne validacije (engl. *leave-one-out cross-validation*, u daljem tekstu LOOCV) je u literaturi prepoznata kao pogodna u slučaju relativno malih skupova

podataka, kao što je skup podataka u ovoj disertaciji (Cirilovic i ostali, 2013; Cha i ostali, 2020). Na Slici 45 je dat šematski prikaz LOOCV metode.



Slika 45. Šematski prikaz leave-one-out metode unakrsne validacije.

Za evaluaciju performansi modela, LOOCV izdvaja jedan uzorak iz ukupno n uzoraka podataka kao skup podataka za validaciju, dok se preostalih $n-1$ uzoraka podataka koristi kao skup podataka za obuku modela. LOOCV podrazumeva n iteracija izostavljajući svaki put jedan uzorak (koji služi za validaciju) iz skupa podataka za obuku. Ovakav metod ocene performansi modela mašinskog učenja se može smatrati pouzdanim i gotovo nepristrasnim (Shao i Er, 2016).

Kao što je prikazano u okviru Poglavlja 2 – Pregled literature, različite metrike mogu biti korišćene za ocenu tačnosti modela (Slika 13). U ovoj disertaciji su ocene kvaliteta modela definisane na osnovu vrednosti srednje apsolutne procentualne greške (engl. *Mean Absolute Percentage Error*, u daljem tekstu MAPE), koja predstavlja jednu od najčešće korišćenih mera za ocenu performansi modela u prethodnim srodnim istraživanjima (Tijanić i ostali, 2020; Garcia de Soto, 2014). U praksi se MAPE često koristi zbog svoje robusne interpretacije greške u relativnom smislu (De Myttenaere i ostali, 2016). MAPE predstavlja meru tačnosti procene zasnovanu na procentualnim greškama i iz tog razloga je pogodna mera za poređenje performansi različitih modela. MAPE se računa prema sledećoj formuli:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} * \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - P_t}{A_t} \right| \quad (10)$$

gde je:

$MAPE$ – srednja apsolutna procentualna greška;

n – broj iteracija;

A_t – stvarna ugovorena vrednost projekta t ;

P_t – procenjena vrednost projekta t .

U disertaciji je predložen veći broj različitih modela za procenu troškova. Modeli se razlikuju u zavisnosti od primenjene metode za razvoj modela, skupa ulaznih troškovno uticajnih parametara i perspektive modeliranja troškova (generalna perspektiva, perspektiva investitora i perspektiva izvođača radova).

Kako bi se izvršilo poređenje različitih modela i donela ocena o tome koji model zadovoljava postavljeni cilj, a to je zadovoljavajuća (što veća) tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta, uz što manji napor (što manje uloženog vremena i novca), bilo je potrebno definisati metrike za poređenje i ocenu modela. Za razliku od prethodnih istraživanja, koja su izbor najprikladnijeg modela vršila samo na osnovu maksimalne postignute tačnosti procene (Kim i ostali, 2004; Tijanić i ostali, 2020), u ovoj disertaciji se poređenje modela i izbor najprikladnijeg modela vrši na osnovu dva pokazatelja:

1. Postignut nivo tačnosti procene;
2. Kumulativni napor potreban za postizanje procene troškova određene tačnosti.

Postignut nivo tačnosti procene se određuje primenom metrika za ocenu performansi modela. Performanse modela se predstavljaju merama greške procene, na prethodno opisan način. U ovoj disertaciji, koristi se srednja apsolutna procentualna greška (MAPE).

Drugi pokazatelj, kumulativni napor potreban za postizanje procene troškova određene tačnosti, se određuje koristeći prosečne vrednosti percipiranih nivoa napora potrebnih za utvrđivanje vrednosti pojedinačnih troškovno uticajnih parametara. Kumulativni napor se računa prema sledećoj formuli:

$$Y_P = \sum_{i=1}^n y_{i,P} \quad (11)$$

gde je:

Y_P – kumulativni napor potreban za postizanje procene troškova određene tačnosti, prema perspektivi P (generalna perspektiva, perspektiva investitora, perspektiva izvođača);

$y_{i,P}$ – prosečna vrednost percipiranog nivoa napora za određivanje vrednosti troškovnog parametra i , na osnovu perspektive P ;

n – broj troškovno uticajnih parametara uključenih u model.

6.3 Rezultati i diskusija

Rezultati performansi različitih modela za procenu troškova su prikazani u zavisnosti od skupa troškovnih parametara na osnovu kojih je model kreiran, metode primenjene za razvoj modela i perspektive posmatranja modeliranja troškova (generalna perspektiva, perspektiva investitora i perspektiva izvođača). Takođe, izvršena je uporedna analiza različitih modela.

Rezultati su prikazani tabelarno, gde svaki red predstavlja performanse zasebnih modela. U kolonama su prikazani sledeći podaci: broj ulaznih parametara na osnovu kojih je model kreiran, vrednosti srednje apsolutne procentualne greške (MAPE) i kumulativni napor potreban za postizanje određene tačnosti procene troškova. Rezultati su organizovani prema različitim perspektivama modeliranja troškova.

Pored tabelarnog prikaza, radi bolje vizuelne interpretacije, rezultati su prikazani i grafički. Na grafičkim prikazima apscisa predstavlja vrednosti kumulativnog napora potrebnog za postizanje procene troškova određene tačnosti, a na ordinati su prikazane vrednosti MAPE. Svaka od tačaka na dijagramima predstavlja grešku MAPE i kumulativni napor za po jedan primenjeni model.

6.3.1 MRA modeli

Kao što je objašnjeno u delu 6.2.3 – Proces modeliranja, sukcesivno je kreiran veći broj MRA modela tako što su troškovno uticajni parametri postepeno uvođeni (jedan po jedan) u modele prema rangiranjima prikazanim u Tabelama 20, 21 i 22. S tim u vezi, rezultati su organizovani u zavisnosti od perspektive različitih grupa učesnika na projektu (investitori, izvođači i generalno). Svaki put kada je kreiran novi model, vršena je validacija modela i sračunate su vrednosti MAPE i kumulativni napor.

U Tabeli 26 su, u zavisnosti od broja ulaznih parametara i perspektive posmatranja modeliranja troškova, prikazane performanse MRA modela (MAPE) zajedno sa kumulativnim naporom. Rezultati su prikazani zaključno sa modelom koji podrazumeva 17 ulaznih parametara, zato što je uočeno da dalje uključivanje troškovnih parametara u modele ne doprinosi značajnijim promenama tačnosti modela, a kumulativni napor se povećava.

Tabela 26. Performanse MRA modela.

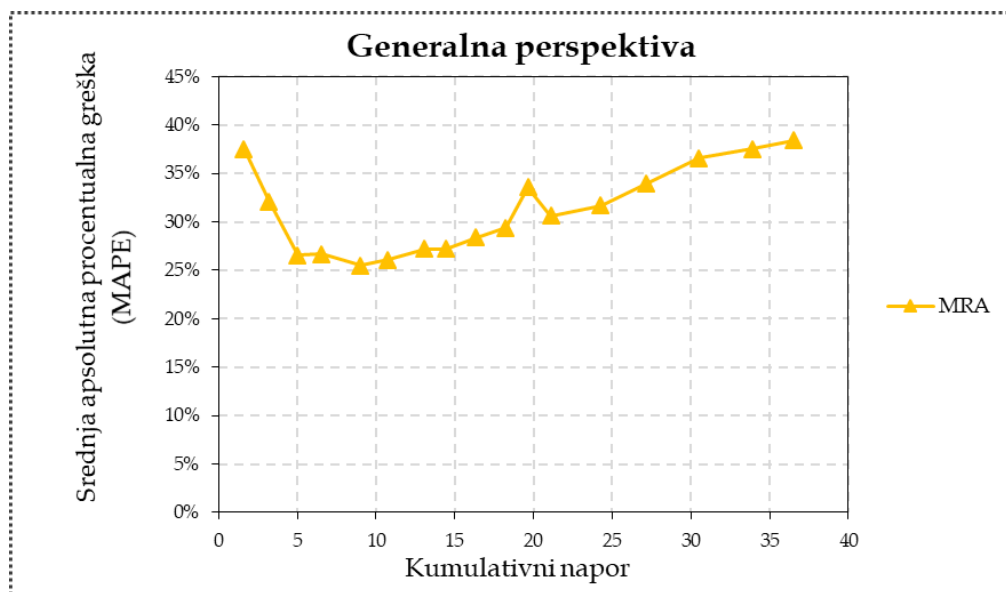
Broj ulaznih parametara	Generalna perspektiva		Perspektiva investitora		Perspektiva izvođača	
	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor
1	37.53%	1.61	37.53%	0.96	71.94%	0.33
2	32.12%	3.19	29.99%	2.08	49.38%	1.03
3	26.56%	5.02	26.56%	3.72	29.77%	1.93

Broj ulaznih parametara	Generalna perspektiva		Perspektiva investitora		Perspektiva izvođača	
	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor
4	26,65%	6,54	27,51%	5,53	28,36%	2,97
5	25,47%	9,01	30,50%	7,59	25,70%	4,02
6	26,08%	10,76	29,47%	9,68	24,26%	5,11
7	27,19%	13,08	28,45%	11,79	26,24%	6,24
8	27,22%	14,42	28,99%	14,05	26,10%	7,49
9	28,36%	16,33	30,88%	16,39	30,90%	8,85
10	29,40%	18,22	31,78%	18,83	33,70%	10,33
11	33,55%	19,65	33,63%	21,29	30,89%	11,88
12	30,64%	21,11	32,58%	23,93	30,64%	13,44
13	31,65%	24,27	27,46%	26,59	32,91%	15,45
14	33,94%	27,12	28,20%	29,25	33,48%	17,55
15	36,55%	30,50	33,00%	31,95	34,33%	19,73
16	37,53%	33,89	33,59%	34,74	35,12%	21,94
17	38,39%	36,51	34,30%	37,53	35,13%	24,16

Prvi model koji je kreiran je najjednostavniji i sadržao je samo jedan troškovno uticajni parametar – prvorangirani parametar koji predstavlja troškovno uticajni parametar najbliži Idealnom troškovnom parametru. Model sa samo jednom ulaznom promenljivom (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*) je u slučaju generalne perspektive i perspektive investitora pokazao jednak nivo greške (MAPE=37,53%) sa kumulativnim naporom od 1,61 i 0,96 respektivno. S druge strane, model sa jednim parametrom u slučaju perspektive izvođača, a to je *Postojanje klizne skale*, je imao veću grešku (MAPE=71,94%), ali uz manji nivo potrebnog napora (0,33).

U slučaju generalne perspektive (Slika 46), sa dodavanjem narednog parametra (*Postojanje klizne skale*) u model, greška procene troškova se smanjuje na MAPE=32,12%. Sa trećim dodatim parametrom (*Postojanje velikih značajnih objekata*), model je pokazao zadovoljavajuću tačnost procene troškova (MAPE=26,56%) uz kumulativni napor od 5,02. Gotovo ista tačnost procene troškova (MAPE=26,65%) je postignuta sa dodavanjem četvrtog troškovnog parametra (*Tip ugovora*) u MRA model, ali uz veći kumulativni napor od 6,54. Dodavanjem petog ulaznog parametra (*Učešće tunela u dužini deonice*) u model, greška predviđanja MRA modela se smanjila (MAPE=25,47%), ali se kumulativni napor povećao na 9,01. Međutim, iako je model sa 5 troškovno uticajnih parametara pokazao najmanju grešku predviđanja, model sa 3 ulazna parametra se može smatrati prikladnijim za početne faze razvoja projekta s obzirom na to da je pokazao nešto veću grešku, ali uz značajno manji kumulativni napor. Formiranje daljih modela nakon modela sa 5 ulaznih parametara,

podrazumeva dodavanje novih troškovnih parametara u model i ulaganje dodatnog napora, ali ne dovodi do smanjenja greške predviđanja, što je i uočljivo na Slici 46.



Slika 46. Rezultati MRA modela – generalna perspektiva.

U slučaju perspektive investitora (Slika 47), nakon greške početnog modela (MAPE=37,53%) sa samo jednim ulaznim parametrom (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*), model sa drugim dodatim parametrom (*Postojanje velikih značajnih objekata*) je pokazao manju grešku MAPE=29,99% uz kumulativni napor od 2,08. Međutim, dodavanje trećeg troškovnog parametra (*Postojanje klizne skale*) u model dovodi do još većeg smanjenja greške predviđanja MAPE=26,56% uz kumulativni napor od 3,72. Nakon ove tačke, dalji modeli koji sadrže veći broj troškovno uticajnih parametara ne dovode do smanjenja greške predviđanja, a kumulativni napor se postepeno povećava (Slika 47).



Slika 47. Rezultati MRA modela – perspektiva investitora.

Nakon visoke početne greške modela sa samo jednim ulaznim parametrom (MAPE=71,94%), MRA modeli u slučaju perspektive izvođača (Slika 48) su pokazali brzo smanjenje greške uz dodatno uključivanje troškovnih parametara. Model sa dva troškovna parametra (*Postojanje klizne skale i Učešće tunela u dužini deonice*) je postigao grešku predviđanja MAPE=49,38% uz kumulativni napor od 1,03. Dodavanjem trećeg troškovnog parametra (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*) se greška smanjila na MAPE=29,77% uz kumulativni napor od 1,93. Takođe, model sa četvrtim dodatim ulaznim parametrom (*Prosečna bruto zarada u građevinarstvu*) je pružio sličnu tačnost predviđanja (MAPE=28,36%), ali uz veći kumulativni napor (2,97). Model sa 5 ulaznih parametara (gde je peti parametar *Postojanje velikih značajnih objekata*) je doveo do smanjenja greške (MAPE=25,70%), ali uz povećanje kumulativnog napora na 4,02. Najbolja tačnost predviđanja MRA modela u slučaju perspektive izvođača je postignuta u slučaju modela sa 6 troškovnih parametara i greškom MAPE=24,26%, i to sa kumulativnim naporom od 5,11. Šesti troškovni parametar je *Tip ugovora*. Razvojem i validacijom narednih modela je zaključeno da uključivanje dodatnih parametara dovodi do povećanja greške (Slika 48).



Slika 48. Rezultati MRA modela - perspektiva izvođača.

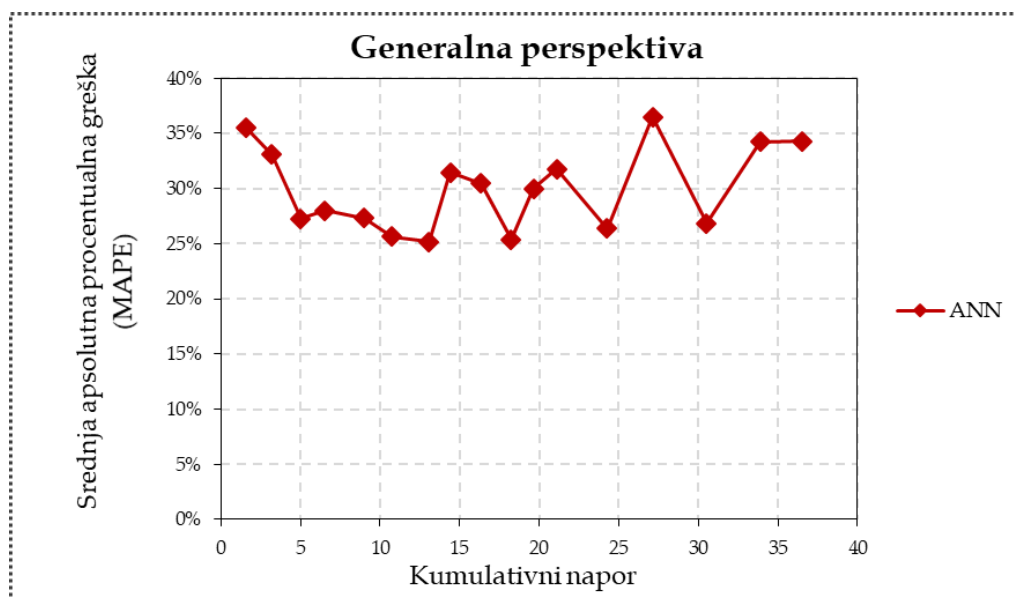
6.3.2 ANN modeli

Tabela 27 sadrži podatke o performansama ANN modela (MAPE) i kumulativnim naporima potrebnim za postizanje određenih tačnosti modela. Kao i kod prethodne grupe modela, prikazani su rezultati zaključno sa modelom koji uključuje 17 ulaznih parametara, zato što kasniji modeli (modeli sa više ulaznih parametara) ne dovode do značajnijih promena greške (MAPE).

Tabela 27. Performanse ANN modela.

Broj ulaznih parametara	Generalna perspektiva		Perspektiva investitora		Perspektiva izvođača	
	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor
1	35,50%	1,61	35,50%	0,96	71,97%	0,33
2	33,10%	3,19	31,35%	2,08	46,73%	1,03
3	27,29%	5,02	27,29%	3,72	30,08%	1,93
4	28,03%	6,54	30,74%	5,53	35,76%	2,97
5	27,34%	9,01	36,61%	7,59	28,36%	4,02
6	25,66%	10,76	31,12%	9,68	30,46%	5,11
7	25,19%	13,08	36,00%	11,79	34,31%	6,24
8	31,44%	14,42	31,07%	14,05	32,14%	7,49
9	30,48%	16,33	35,14%	16,39	30,56%	8,85
10	25,40%	18,22	35,25%	18,83	28,59%	10,33
11	29,99%	19,65	33,81%	21,29	26,36%	11,88
12	31,76%	21,11	32,95%	23,93	31,76%	13,44
13	26,37%	24,27	31,20%	26,59	40,38%	15,45
14	36,48%	27,12	38,69%	29,25	42,03%	17,55
15	26,88%	30,50	38,12%	31,95	29,14%	19,73
16	34,23%	33,89	36,02%	34,74	32,88%	21,94
17	34,27%	36,51	26,39%	37,53	48,07%	24,16

U slučaju generalne perspektive (Slika 49), polazni model, koji sadrži samo jednu ulaznu promenljivu (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*), je pokazao grešku MAPE=35,50% uz kumulativni napor od 1,61. Model sa dva troškovna parametra (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice* i *Postojanje klizne skale*), postigao je tačnost predviđanja sa MAPE=33,10% sa kumulativnim naporom od 3,19. Nakon toga, model sa 3 ulazna troškovna parametra (gde je treći parametar *Postojanje velikih značajnih objekata*) i kumulativnim naporom od 5,02, je dostigao grešku MAPE=27,29%. Dodavanjem četvrtog parametra (*Tip ugovora*), greška predviđanja MRA modela se blago uvećala (MAPE=28,03%) i kumulativni napor se povećao na 6,54. Slična greška modela za procenu troškova (MAPE=27,34%) je ostvarena uključivanjem petog parametra (*Učešće tunela u dužini deonice*) u model, ali uz značajno veći kumulativni napor (9,01). Najveću tačnost ANN modela za generalnu perspektivu je pokazao model sa 7 ulaznih promenljivih koji podrazumeva grešku MAPE=25,19% i kumulativni napor od 13,08. Nakon ove tačke, formiranjem kasnijih modela i povećanjem broja ulaznih parametara u modelima, greška se povećava, a nakon toga smanjuje itd., dok se kumulativni napor postepeno povećava.



Slika 49. Rezultati ANN modela – generalna perspektiva.

Slika 50 pokazuje da je tačnost početnog ANN modela, koji sadrži samo jedan ulazni parametar (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*), u slučaju perspektive investitora, ista kao i u slučaju generalne perspektive (MAPE=35,50%). Dodavanjem drugog troškovnog parametra (*Postojanje velikih značajnih objekata*) u model se greška predviđanja smanjila na MAPE=31,35% uz kumulativni napor od 2,08. Može se zaključiti da je model sa 3 ulazna troškovna parametra (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*, *Postojanje velikih značajnih objekata* i *Postojanje klizne skale*) najprikladniji za početne faze razvoja projekta. Ovaj model je pokazao grešku MAPE=27,29% za kumulativni napor od 3,72. Nakon ove tačke, dalji modeli, koji sadrže veći broj troškovno uticajnih parametara i podrazumevaju ulaganje dodatnog napora, ne dovode do smanjenja greške.



Slika 50. Rezultati ANN modela – perspektiva investitora.

ANN model sa samo jednim ulaznim parametrom (*Postojanje klizne skale*) je u slučaju perspektive izvođača (Slika 51) pokazao veliku grešku predviđanja (MAPE=71,97%). Nakon toga, kreiranje novih ANN modela dodavanjem troškovnih parametara brzo dovodi do smanjenja greške. Model kreiran dodavanjem drugog ulaznog parametra (*Učešće tunela u dužini deonice*) dostigao je grešku MAPE=46,73% uz kumulativni napor od 1,03. Uključivanje trećeg parametra (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*) dovodi do daljeg smanjenja greške (MAPE=30,08%) sa kumulativnim naporom od 1,93. Dodavanjem četvrtog parametra (*Prosečna bruto zarada u građevinarstvu*) se smanjuje tačnost modela (MAPE=35,76%). Zatim, model sa 5 parametara (gde je peti parametar *Postojanje velikih značajnih objekata*) i kumulativnim naporom od 4,02 dovodi do povećanja tačnosti (MAPE=28,36%). Ovaj model se može smatrati najprikkladnijim za početne faze razvoja projekta. Najveća preciznost se za perspektivu izvođača (MAPE=26,36%) postiže ANN modelom sa 11 ulaznih parametara, ali ovaj model podrazumeva kumulativni napor od 11,88, što ga ne čini pogodnim za početne faze razvoja projekta.



Slika 51. Rezultati ANN modela – perspektiva izvođača.

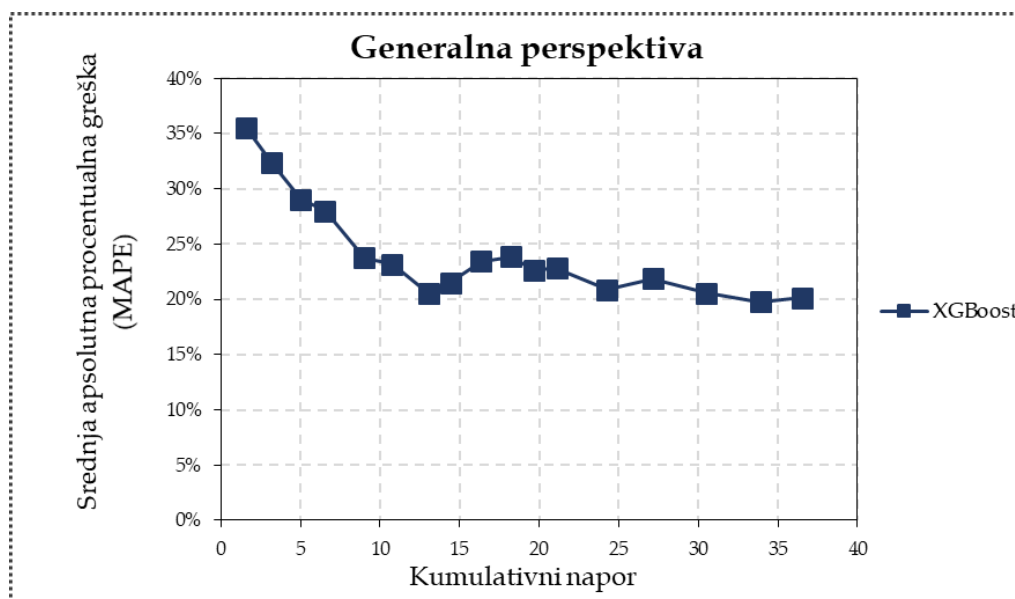
6.3.3 XGBoost modeli

Performanse XGBoost modela i vrednosti kumulativnih napora su prikazani u Tabeli 28 za sve tri perspektive. Kao i u slučaju prethodne dve grupe modela, prikazani su rezultati zaključno sa modelom koji sadrži 17 ulaznih troškovnih parametara.

Tabela 28. Performanse XGBoost modela.

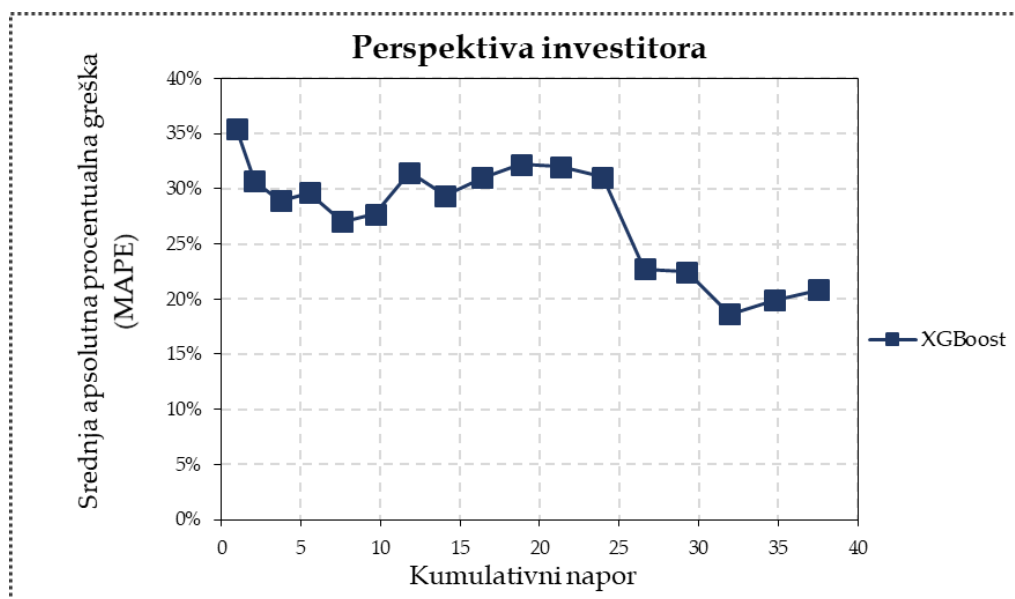
Broj ulaznih parametara	Generalna perspektiva		Perspektiva investitora		Perspektiva izvođača	
	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor	MAPE	Kumulativni napor
1	35,52%	1,61	35,47%	0,96	71,94%	0,33
2	32,37%	3,19	30,68%	2,08	45,56%	1,03
3	29,04%	5,02	28,89%	3,72	28,45%	1,93
4	27,99%	6,54	29,65%	5,53	28,69%	2,97
5	23,77%	9,01	27,02%	7,59	24,75%	4,02
6	23,18%	10,76	27,70%	9,68	23,31%	5,11
7	20,53%	13,08	31,47%	11,79	21,90%	6,24
8	21,52%	14,42	29,38%	14,05	22,41%	7,49
9	23,44%	16,33	31,03%	16,39	22,55%	8,85
10	23,85%	18,22	32,20%	18,83	22,77%	10,33
11	22,67%	19,65	31,99%	21,29	22,85%	11,88
12	22,80%	21,11	31,06%	23,93	22,51%	13,44
13	20,89%	24,27	22,73%	26,59	22,98%	15,45
14	21,85%	27,12	22,47%	29,25	23,17%	17,55
15	20,54%	30,50	18,63%	31,95	21,66%	19,73
16	19,77%	33,89	19,89%	34,74	21,79%	21,94
17	20,12%	36,51	20,86%	37,53	21,26%	24,16

Na Slici 52 je dat grafički prikaz rezultata XGBoost modela za slučaj generalne perspektive. Sa prikazane krive se može uočiti da se, u slučaju generalne perspektive, XGBoost modelima brzo dostiže greška predviđanja (MAPE) manja od 24%. Najpre, model sa samo jednim troškovno uticajnim parametrom (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*) i kumulativnim naporom od 1,61 dostiže grešku od 35,52%. Naredni model, koji je formiran dodavanjem drugog troškovnog parametra (*Postojanje klizne skale*), je doveo do smanjenja greške na 32,37% uz kumulativni napor od 3,19. Uključivanjem trećeg parametra (*Postojanje velikih značajnih objekata*) se greška predviđanja smanjuje na 29,04% uz kumulativni napor od 5,02. Model sa 5 troškovno uticajnih parametara (gde je peti parametar *Učešće tunela u dužini deonice*) i kumulativnim naporom od 9,01 je pokazao grešku predviđanja MAPE=23,77%. Nakon ove tačke, performanse kasnijih XGBoost modela koji sadrže veći broj troškovnih parametara imaju stabilan trend i greške se kreću između 20% i 24%, a kumulativni napor postepeno raste.



Slika 52. Rezultati XGBoost modela – generalna perspektiva.

U slučaju perspektive investitora (Slika 53), početna tačnost predviđanja, sa modelom koji sadrži samo prvorangirani troškovno uticajni parametar (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*), je slična kao kod generalne perspektive (MAPE=35,47%). Dodavanjem narednog parametra (*Postojanje velikih značajnih objekata*), greška se smanjuje na 30,68% uz kumulativni napor od 2,08. Uključivanje trećeg parametra (*Postojanje klizne skale*) doprinosi manjem smanjenju greške (MAPE=28,89%). XGBoost model sa četvrtim dodatim parametrom (*Vrsta tenderskog postupka*) je doveo do manjeg povećanja greške (MAPE=29,65%) uz kumulativni napor od 5,53. Greška predviđanja od MAPE=27,02% se postiže XGBoost modelom sa 5 ulaznih parametara (gde je peti parametar *Broj tunelskih cevi*) i kumulativnim naporom od 7,59. Sa dodatnim uključivanjem troškovnih parametara u modele, MAPE oscilira oko 30% zaključno sa modelom sa 12 ulaznih parametara. Sa Slike 53 se može primetiti da se dodavanjem 13. ulaznog parametra greška modela značajno smanjuje na MAPE=22,73% (sa kumulativnim naporom od 26,59) i dalje oscilira oko 20%. Ovaj pad greške se može smatrati opravdanim, s obzirom na to da je 13. rangirani troškovno uticajni parametar prema percepcijama investitora *Učešće tunela u dužini deonice* (Tabela 21). Ovaj parametar se u literaturi (Kim i ostali, 2008) pokazao kao veoma uticajan na troškove izgradnje auto-puteva. Najbolja tačnost XGBoost modela (MAPE=18,63%) postignuta je sa kumulativnim naporom od 31,95 i 15 ulaznih parametara.



Slika 53. Rezultati XGBoost modela - perspektiva investitora.

Kada je u pitanju perspektiva izvođača radova (Slika 54), najjednostavniji model koji podrazumeva samo prvorangirani troškovni parametar (*Postojanje klizne skale*) je pokazao grešku MAPE=71,94%. Dodavanjem drugog parametra (*Učesće tunela u dužini deonice*) se greška predviđanja XGBoost modela smanjuje na MAPE=45,56% uz kumulativni napor od 1,03. Uključivanje trećeg parametra (*Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice*) u model doprinosi smanjenju greške na 28,45% uz kumulativni napor od 1,93. Dodavanje narednog parametra (*Prosečna bruto zarada u građevinarstvu*) ne dovodi do smanjenja greške (MAPE=28,69%), a kumulativni napor se uvećava (2,97). Sa kumulativnim naporom od 4,02 i modelom sa 5 ulaznih troškovno uticajnih parametara (*Postojanje klizne skale, Učesće tunela u dužini deonice, Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice, Prosečna bruto zarada u građevinarstvu i postojanje velikih značajnih objekata*) MAPE iznosi 24,75%. Nakon toga, greška ostaje približno oko 22% sa povećanjem kompleksnosti modela i ulaganjem dodatnog napora. XGBoost modeli su pokazali najstabilnije rezultate u slučaju perspektive izvođača. Performanse modela ostaju gotovo iste sa dodavanjem novih troškovnih parametara, a kumulativni napor se postepeno povećava.



Slika 54. Rezultati XGBoost modela – perspektiva izvođača.

6.3.4 Poređenje formiranih modela

U prethodnom tekstu su prikazani formirani modeli za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta. Predstavljene su tri grupe modela u zavisnosti od primenjene metode za razvoj modela – MRA, ANN i XGBoost.

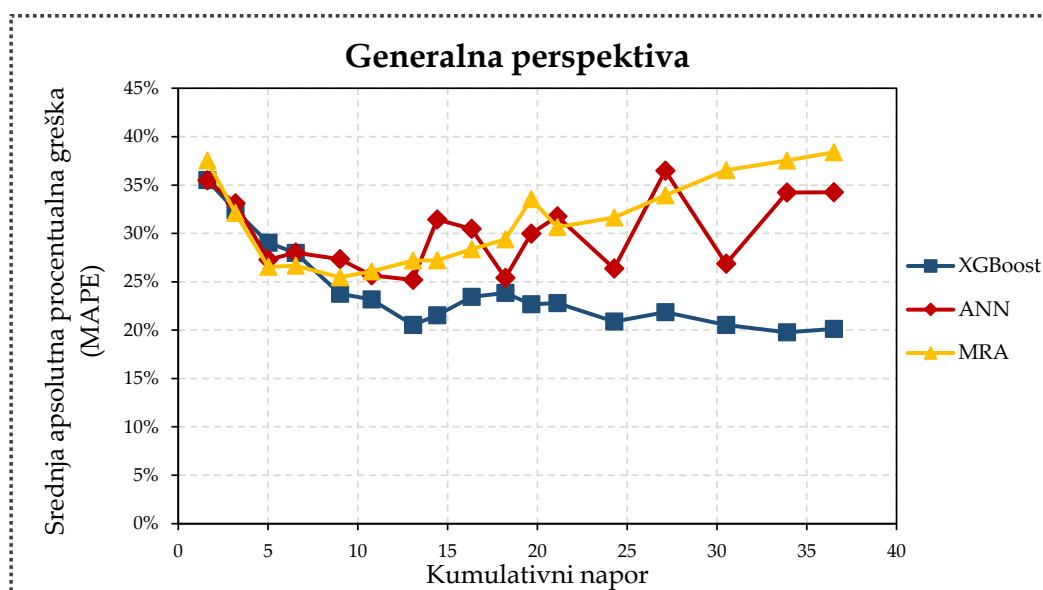
Pre svega, važno je istaći da su prethodno opisane tačnosti predviđanja koje su postignute pomoću sve tri grupe modela u saglasnosti sa, u literaturi preporučenim, zadovoljavajućim rasponima grešaka procena troškova u početnim fazama razvoja projekta.

U početnim fazama razvoja projekta, kada su dostupne samo oskudne informacije o projektu, potrebne su brze i zadovoljavajuće precizne procene troškova za ispravno donošenje odluka. Kada su u pitanju zahtevi procene troškova u početnim fazama razvoja projekta, dostupan je veći broj smernica i izveštaja koji predlažu raspone tačnosti procene u zavisnosti od nivoa završetka projekta (Anderson i ostali, 2007; AASHTO, 2013; AACE International, 2022). Na primer, u (AASHTO, 2013) se smatra da faza planiranja razvoja projekta podrazumeva 0% do 15% završene razrade projekta i predloženi opseg tačnosti procene troškova sa greškom od -40% do +100%. Slično tome, u istom izvoru se navodi da faza utvrđivanja obuhvata projekta podrazumeva da je od 10% do 30% razrade projekta završeno i da se tačnost procene troškova u ovoj ranoj fazi projekta kreće sa greškom između -30% i +50% greške. Zatim, prema Ashworth (2010) se preporučuje da razlika između stvarne i procenjene vrednosti troškova u fazi iniciranja projekta treba da iznosi do $\pm 50\%$ (Peško, 2013).

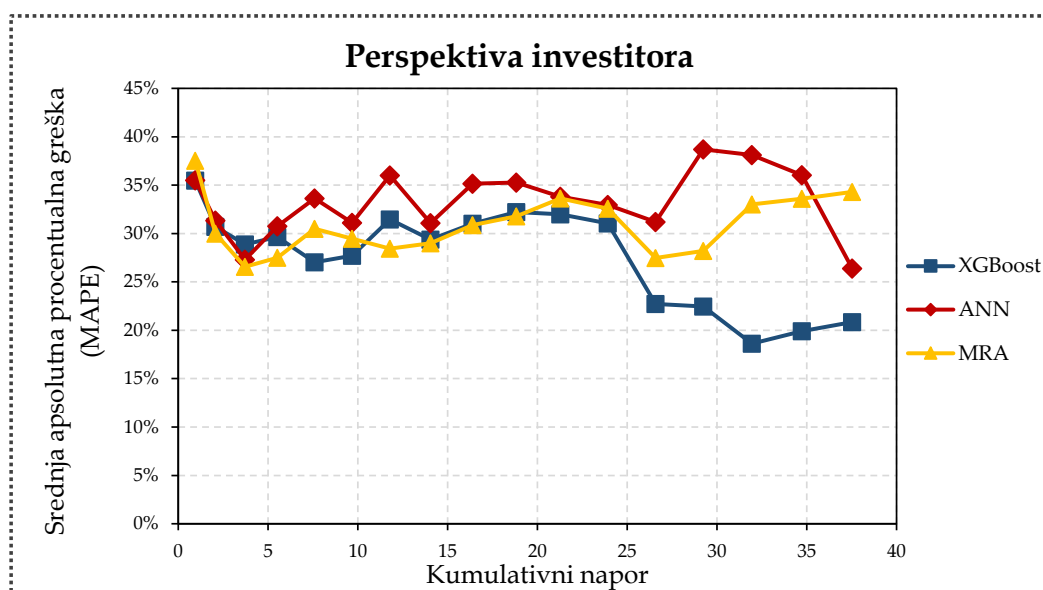
Sa sve tri metode (MRA, ANN i XGBoost), modeli su kreirani postepeno tako što su se troškovno uticajni parametri uključivali u modele prema njihovim rangiranjima datim u

Tabelama 20, 21 i 22. Rangiranja troškovnih parametara se razlikuju za perspektive investitora, izvođača radova i generalnu perspektivu. Kao što se iz prethodno prikazanih analiza tačnosti modela može jasno uočiti, sve tri grupe modela sa relativno malim brojem ključnih troškovno uticajnih parametara (3 do 5 parametara) dostižu, napred navedene, zadovoljavajuće tačnosti procene troškova izgradnje auto-puteva za početne faze razvoja projekta.

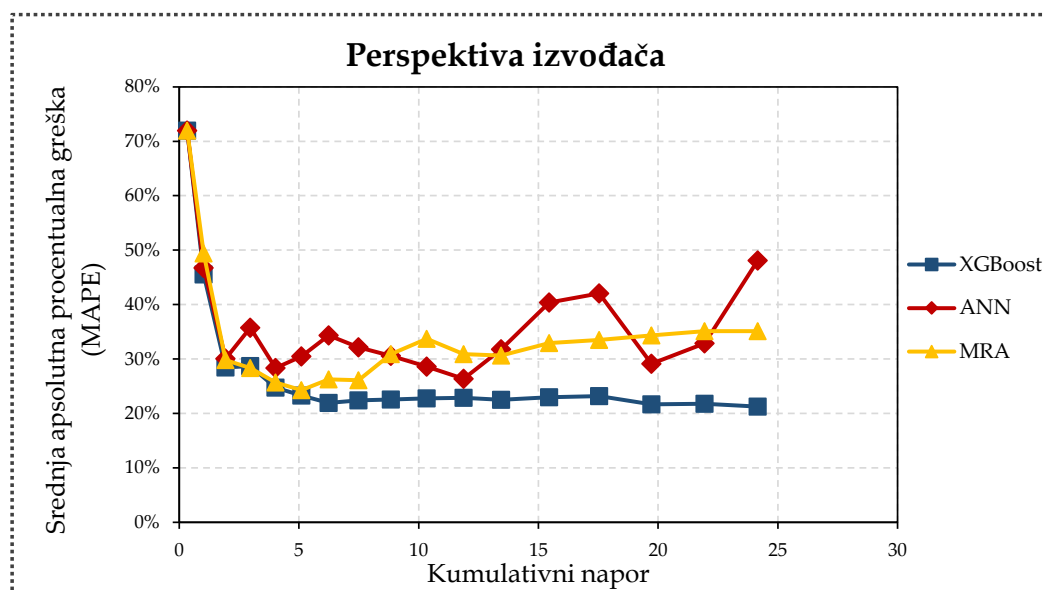
Radi lakše uporedivosti rezultata formiranih modela između različitih perspektiva i u zavisnosti od primenjenih metoda za razvoj modela, rezultati su sumarno prikazani grafički na Slikama 55, 56 i 57.



Slika 55. Rezultati modela – generalna perspektiva.



Slika 56. Rezultati modela – perspektiva investitora.



Slika 57. Rezultati modela – perspektiva izvođača.

Prikazani rezultati se mogu tumačiti na sledeći na način:

- Može se zaključiti da su performanse ANN modela za sve tri perspektive pokazale nestabilan trend rezultata. Sa povećanjem broja ulaznih parametara u modelima, greška MAPE se u nekim slučajevima smanjuje, a u nekim povećava. Ova pojava se može objasniti činjenicom da, za studiju slučaja u ovoj disertaciji (koja podrazumeva relativno mali skup podataka), ANN predstavljaju osetljiviji algoritam od MRA i XGBoost. To znači da bi za svaku kombinaciju ulaznih troškovnih parametara trebalo ispitati i podesiti hiperparametre kako bi se obezbedile dobre performanse ANN modela.
- Sa slika se uočava da su za sve tri perspektive, XGBoost modeli pokazali slične rezultate kao MRA i ANN modeli do kumulativnog napora od 5. Za kumulativni napor veći od 5, XGBoost modeli su pokazali najstabilniji trend rezultata, naročito u slučaju perspektive izvođača (Slika 57). Nakon što se brzo dostigne zadovoljavajuća tačnost predviđanja, kompleksniji modeli, koji podrazumevaju uključivanje dodatnih ulaznih parametara i ulaganje dodatnog napora, ne dovode do značajnijih promena greške ili greška ostaje nepromenjena.
- Za razliku od XGBoost i ANN modela, kod MRA modela se, za slučaj sve tri perspektive, nakon postizanja zadovoljavajuće tačnosti, greška predviđanja povećava sa uključivanjem dodatnih parametara.
- Kada se uporede rezultati modela za tri različite perspektive, može se uočiti da je greška predviđanja početnog modela (koji sadrži samo jedan troškovni parametar) u slučaju perspektive izvođača radova (Slika 57) značajno veća nego u slučaju generalne ili perspektive investitora. Sa stanovišta izvođača, prvorangirani troškovni parametar je *Postojanje klizne skale*. Kao što je diskutovano u Poglavlju 4.3.4, apsolutno je logično zašto je ovaj parametar

percipiran kao takav. S obzirom na to da je anketa sprovedena u decembru 2022. godine, izvođači su smatrali da postojanje klizne skale ima veoma veliki uticaj na troškove izgradnje. Razlog velike greške modela koji sadrži samo ovaj troškovni parametar može biti to što je najveći broj analiziranih projekata ugovoren i realizovan pre krize izazvane pandemijom virusa COVID-19 i oružanim sukobom Rusije i Ukrajine. Nakon početka krize, cene resursa su se dramatično povećale i još uvek su bile nestabilne u vreme sprovedene ankete, a izazvale su ogromne negativne finansijske posledice po izvođače.

- Sa sve tri metode (MRA, ANN i XGBoost) i u slučaju sve tri perspektive, zadovoljavajuća tačnost procene troškova sa greškom od 25% do 30% je brzo postignuta sa samo 3 do 5 ključnih troškovno uticajnih parametara. To potvrđuje formulisanu istraživačku hipotezu da je u početnim fazama razvoja projekta moguće postići zadovoljavajuću tačnost procene troškova uz mali napor, i to sa samo nekoliko ključnih troškovno uticajnih parametara.

S obzirom na to da su zadovoljavajuće tačnosti modela postignute sa 3 do 5 ključnih troškovno uticajnih parametara i da se rangiranja troškovnih parametara razlikuju za tri različite perspektive, izvršeno je poređenje prvih 5 rangiranih parametara. Za sve tri perspektive, u prvih 5 troškovno uticajnih parametara spadaju:

- HA.1 Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice;
- HA.2 Postojanje velikih značajnih objekata;
- C.4 Postojanje klizne skale.

Sa stanovišta generalne perspektive, sledeća 2 troškovno uticajna parametra se nalaze u prvih 5:

- C.2 Tip ugovora;
- HA.8 Učešće tunela u dužini deonice.

Sledeća 2 troškovno uticajna parametra se nalaze u okviru prvih 5, za slučaj perspektive investitora:

- C.3 Vrsta tenderskog postupka;
- T.1 Broj tunelskih cevi.

Iz perspektive izvođača radova, sledeća 2 troškovno uticajna parametra su rangirana među prvih 5:

- HA.8 Učešće tunela u dužini deonice;
- EC.3 Prosečna bruto zarada u građevinarstvu.

Poređenje rezultata sa drugim istraživanjima nije moguće zbog određenih različitosti. Na primer, Gardner i ostali (2016) su testirali metodologiju za izbor ključnih troškovno uticajnih parametara na osnovu rezultata ankete koja je uključivala 31 ispitanika zaposlenog u istoj kompaniji investitora (engl. *highway agency*). Zadovoljavajuća tačnost procene troškova je u

studiji (Gardner i ostali, 2016) postignuta sa 5 ključnih troškovno uticajnih parametara za ANN modele i 9 ključnih parametara za MRA modele. Kako je metodologija testirana samo na projektima održavanja kolovoza i polazna lista je sadržala drugačije troškovno uticajne parametre, rezultati nisu direktno uporedivi i ključni troškovno uticajni parametri se razlikuju od onih dobijenih u ovom istraživanju. Samo se parametar koji definiše tip terena našao među ključnim u oba istraživanja.

7. Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja

Procene troškova u početnim fazama razvoja projekta predstavljaju osnovu za donošenje odluka o izgradnji budućih projekata auto-puteva. Ove procene su praćene neizvesnostima i rizicima, kako za investitore, tako i za potencijalne izvođače radova. Jedan od izazova sa kojim se susreću donosioci odluka, naročito u zemljama u razvoju, jeste nedostupnost ili mali broj podataka sa prethodnih projekata i nedostatak strukturiranih baza istorijskih podataka na osnovu kojih bi se doneli zaključci o troškovima budućih projekata. Sa druge strane, utvrđivanje informacija o budućim projektima zahteva ulaganje određenog nivoa napora (vremena i novca), što procene troškova čini još izazovnijim. Cilj procena troškova u početnim fazama razvoja projekta jeste da pruže zadovoljavajuću tačnost predviđanja troškova, a da u isto vreme budu troškovno i vremenski efikasne, tj. da ne zahtevaju veliki napor za njihovo određivanje. Međutim, postojeća istraživanja su uglavnom težila postizanju maksimalne moguće tačnosti procene troškova, ne uzimajući u obzir potreban nivo napora.

Glavni cilj doktorske disertacije bio je da se popune praznine u postojećim istraživanjima tako što će se predložiti sistem podrške odlučivanju koji će investitorima i potencijalnim izvođačima radova pružiti zadovoljavajuću tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta, i to za kratko vreme i uz relativno niske troškove. Shodno tome, istraživanje se baziralo na sledećim hipotezama: (1) Moguće je formirati originalnu bazu istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva iz zemalja u razvoju koja će služiti kao osnova za dalju analizu troškova; (2) Integracijom istorijskih podataka sa prethodnih projekata, empirijskog istraživanja i metoda mašinskog učenja moguće je kreirati hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta; (3) Moguće je postići zadovoljavajuću tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta uz mali napor i sa samo nekoliko ključnih troškovnih parametara; (4) Postoji razlika između percepcija investitora i izvođača radova u vezi sa ključnim troškovno uticajnim parametrima.

U disertaciji je predložen novi, originalni, hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta zasnovan na integraciji istorijskih podataka sa prethodnih projekata, empirijskog istraživanja i metoda mašinskog učenja. Takođe, ostvareni su i sledeći specifični ciljevi: (1) Formirana je jedinstvena baza istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva u regionu; (2) Izvršena je identifikacija troškovno značajnih grupa radova i troškovno značajnih objekata i formirane su originalne

baze podataka o njihovim karakteristikama; (3) Dat je predlog metodologije za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara na bazi anketnog upitnika; (4) Izvršena je analiza i poređenje perspektiva investitora i izvođača radova u vezi sa ključnim troškovno uticajnim parametrima za procenu troškova izgradnje auto-puteva.

U disertaciji je formirana originalna baza podataka na osnovu prikupljene dokumentacije sa 68 projekata izgradnje auto-puteva i brzih saobraćajnica ugovorenih u poslednjih 20-ak godina na teritoriji Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije i Crne Gore. Analiza podataka je ukazala na troškovno značajne grupe objekata u okviru izgradnje auto-puteva: trasa auto-puta, mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice. Ove grupe objekata u proseku čine 37,25%, 24,46%, 9,88% i 4,75% ukupnih troškova izgradnje auto-puteva respektivno, odnosno čine 76,34% ukupnih troškova. Pored glavne, kreirane su i tri prateće baze podataka o karakteristikama tri grupe troškovno značajnih objekata u sklopu trase auto-puta (mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice). Formirane baze podataka su poslužile za identifikaciju troškovno uticajnih parametara i razvoj modela za procenu troškova. Time je potvrđena prva hipoteza istraživanja - moguće je formirati originalnu bazu istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva iz zemalja u razvoju koja će služiti kao osnova za dalju analizu troškova.

U drugoj fazi istraživanja je predložena metodologija za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara. U okviru predložene metodologije je formirana jedinstvena Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara koja se sastojala od 34 parametra grupisana u 7 kategorija. Preliminarna lista je definisana na osnovu analize formiranih baza istorijskih podataka, pregleda literature i pilot studije. Formiranjem liste su identifikovani troškovni parametri koji nisu prethodno analizirani u literaturi (C.3 Vrsta tenderskog postupka; C.4 Postojanje klizne skale; C.5 Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima; C.6 Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta; S.3 Politička stabilnost; EN.1 Mere zaštite od saobraćajne buke; EN.2 Mere zaštite površinskih i podzemnih voda; EN.3 Mere zaštite flore i faune).

Na osnovu Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara je formiran jedinstven anketni upitnik. Investitori i izvođači su u anketi ocenjivali nivo uticaja svakog parametra na troškove izgradnje auto-puteva i nivo napora (vremena i troškova) koji je potrebno uložiti kako bi se utvrdila vrednost parametra za određeni projekat. Rezultati anketiranja eksperata su omogućili rangiranje troškovnih parametara i poređenje perspektiva investitora i izvođača radova u vezi sa ključnim troškovnim parametrima. Rezultati analize percepcija ispitanika su ukazali na veću zabrinutost investitora u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine, ali i da su izvođači radova više zabrinuti zbog visokih troškova vezanih za ekološka pitanja i mogućih promena cena resursa (naročito nakon nedavnih velikih povećanja cena izazvanih pandemijom virusa COVID-19 i oružanim sukobom Rusije i Ukrajine). Rangiranje troškovnih parametara je izvršeno na osnovu perspektiva investitora i izvođača radova, kao i na osnovu generalne (opšte) perspektive. Poređenjem različitih perspektiva, zaključeno je da su troškovno uticajni parametri drugačije percipirani u skladu sa perspektivama

investitora i izvođača (među 10 prvorangiranih, samo 5 troškovnih parametara je istih za obe perspektive). Ovim je potvrđena istraživačka hipoteza da investitori i izvođači radova imaju različite percepcije o ključnim troškovno uticajnim parametrima.

U istraživanju je predložen veći broj modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva na osnovu prethodnih rezultata – baze istorijskih podataka i rangiranja troškovnih parametara. Modeli su razvijeni koristeći tri različite metode: (1) višestruka regresiona analiza (MRA); (2) veštačke neuronske mreže (ANN); (3) ekstremno gradijentno pojačavanje (XGBoost). Modeli su kreirani postepenim uključivanjem troškovnih parametara (jedan po jedan) u skladu sa rangiranjima parametara na osnovu tri navedene perspektive (generalna, perspektiva investitora, odnosno izvođača). Pri tome, u svakoj grupi modela (MRA, ANN i XGBoost), prvi formirani model podrazumeva samo jedan ulazni parametar, a postupno su dodavani naredni parametri. Razvoj i validacija svih modela su vršeni pri jednakim uslovima, a modeli su poređeni na osnovu srednje apsolutne procentualne greške (MAPE) i vrednosti kumulativnog napora.

MRA modelima je zadovoljavajuća tačnost predviđanja (MAPE=26,56%) postignuta sa samo 3 ulazna parametra za slučaj generalne i perspektive investitora, dok je za perspektivu izvođača greška MAPE=25,7% postignuta sa 5 ulaznih parametara. Rezultati pokazuju da se za slučaj sve tri perspektive, nakon postizanja zadovoljavajuće tačnosti, greška MRA modela povećavala sa uključivanjem dodatnih parametara.

ANN modeli su pokazali grešku predviđanja MAPE=27,29% sa 3 ulazna parametra za slučaj generalne i perspektive investitora, a za perspektivu izvođača greška MAPE=28,36% je postignuta sa 5 ulaznih parametara. Nakon toga, performanse ANN modela su za sve tri perspektive pokazale nestabilan trend. Sa povećanjem broja ulaznih parametara u modelima, greška MAPE se u nekim slučajevima smanjivala, a u nekim povećavala.

Za slučaj generalne perspektive, XGBoost model sa 5 troškovnih parametara je postigao grešku MAPE=23,77%. Greška predviđanja od MAPE=27,02% je postignuta modelom sa 5 parametara u slučaju perspektive investitora, dok je za perspektivu izvođača model sa 5 parametara imao grešku MAPE=24,75%. U poređenju sa prethodne dve grupe modela, XGBoost modeli su pokazali najbolje rezultate za kumulativni napor veći od 5 (dostiže se greška od oko 20% koja se dalje ne povećava).

Dobijene tačnosti predviđanja su u saglasnosti sa, u literaturi preporučenim, zadovoljavajućim rasponima grešaka procena troškova u početnim fazama razvoja projekta. Rezultati pokazuju da se za sve tri grupe modela zadovoljavajuća tačnost sa greškom 25-30% postiže uz relativno mali uloženi napor, i to sa samo 3 do 5 ključnih ulaznih parametara. Pored toga, povećanje broja ulaznih parametara ne podrazumeva nužno i povećanje tačnosti. Štaviše, to može izazvati suprotno; nakon nekog trenutka, uključivanje dodatnih parametara može dovesti do povećanja grešaka u modelima. Rezultatima je potvrđena hipoteza da se zadovoljavajuća tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim

fazama razvoja projekta može postići uz mali uloženi napor i sa svega nekoliko ključnih troškovnih parametara.

Na kraju, uzimajući u obzir dobijene rezultate, potvrđena je hipoteza istraživanja da je moguće kreirati hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta integracijom istorijskih podataka sa prethodnih projekata, empirijskog istraživanja (ankete) i metoda mašinskog učenja.

7.1 Doprinos istraživanja

Predstavljena metodologija i dobijeni rezultati ističu višestruki doprinos ove disertacije postojećem korpusu znanja.

Kreiranje jedinstvene baze podataka sa 68 projekata izgradnje auto-puteva sa teritorija Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije i Crne Gore predstavlja veliki doprinos disertacije uzimajući u obzir činjenicu da takve baze podataka ne postoje u navedenim zemljama ili nisu javno dostupne, što potvrđuju i rezultati anketnog upitnika. Formirana baza podataka sadrži detaljne podatke o karakteristikama projekata i njihovog okruženja, kao i podatke o troškovima, koji su poslužili za razvoj modela za procenu troškova izgradnje auto-puteva u ovoj disertaciji. Osim razvoja modela za procenu troškova, baza podataka može imati i druge funkcije, ali i poslužiti za druge analize. Pored toga, formirane jedinstvene baze podataka o karakteristikama tri grupe troškovno značajnih objekata takođe predstavljaju bitan doprinos i mogu imati veći broj funkcija, kao što je npr. razvoj modela za procenu troškova za sva tri tipa objekta (mostovi, tuneli i denivelisane raskrsnice).

Predlog pristupa za određivanje ključnih troškovno uticajnih parametara koji imaju visok uticaj na troškove izgradnje auto-puteva, a ne zahtevaju veliki uloženi napor za njihovo određivanje predstavlja važan doprinos iz više razloga. Jedinstvena Preliminarna lista troškovno uticajnih parametara koja je formirana u okviru predstavljene metodologije sadrži i parametre koji do sada nisu analizirani u postojećim studijama o proceni troškova putnih infrastrukturnih projekata. Takođe, za razliku od prethodnih istraživanja koja su ključne troškovne parametre razmatrala samo iz generalne ili perspektive investitora, predložena metodologija razmatra i poredi tri perspektive (generalna, perspektiva investitora i perspektiva izvođača). Ovakav pristup je doprineo otkrivanju značajnosti pojedinih parametara koji do sada nisu razmatrani. Na primer, parametar vezan za postojanje klizne skale na projektu se pokazao kao ključan za procenu troškova izgradnje auto-puteva, a nije razmatran u postojećoj literaturi.

Konačno, glavni doprinos disertacije se ogleda u formiranju i rezultatima predloženih novih modela za procenu troškova. Najpre, u ovom istraživanju je prvi put testirana upotreba XGBoost metode za razvoj modela za procenu troškova putnih infrastrukturnih projekata i u poređenju sa druge dve metode, XGBoost modeli su pokazali najbolje rezultate. Rezultati sve tri grupe modela (MRA, ANN i XGBoost) ukazuju da je potrebno uložiti mali napor i

odrediti samo 3 do 5 ključnih troškovno uticajnih parametara kako bi se u početnim fazama razvoja projekta dobila zadovoljavajuća tačnost procene troškova na osnovu koje se može doneti inicijalna odluka o izgradnji budućeg auto-puta. Takođe je interesantan zaključak da za sve tri perspektive, u prvih 5 troškovno najuticajnijih parametara spadaju:

- HA.1 Zastupljenost određenog tipa terena u dužini deonice;
- HA.2 Postojanje velikih značajnih objekata;
- C.4 Postojanje klizne skale.

Na osnovu sprovedenih analiza je utvrđeno da ulaganje dodatnog napora, naročito u razvoj projektne dokumentacije, može dovesti do povećanja tačnosti procene troškova, ali to zahteva značajnu količinu vremena i novca.

7.2 Zaključci

Na početku istraživanja su formulisane sledeće hipoteze:

- Moguće je formirati originalnu bazu istorijskih podataka sa projekata izgradnje auto-puteva iz zemalja u razvoju koja će služiti kao osnova za dalju analizu troškova;
- Postoji razlika između percepcija investitora i izvođača radova vezano za ključne troškovno uticajne parametre;
- Zadovoljavajuća tačnost procene troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta može se postići uz mali uloženi napor i sa samo nekoliko ključnih troškovno uticajnih parametara;
- Moguće je kreirati hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta integracijom istorijskih podataka sa prethodnih projekata, empirijskog istraživanja i metoda mašinskog učenja.

Nakon sprovedenog obimnog istraživanja, potvrđene su postavljene hipoteze:

- Formirana je originalna baza podataka sa 68 projekata izgradnje auto-puteva ugovorenih u poslednjih 20-ak godina u Srbiji, Bosni i Hercegovini, Severnoj Makedoniji i Crnoj Gori;
- Ustanovljeno je da se percepcije investitora i izvođača razlikuju u pogledu ključnih troškovno uticajnih parametara, ali i da u 10 prvorangiranih parametara postoji 5 parametara koji su zajednički sa oba stanovišta;
- Utvrđeno je da se već sa 3 do 5 ključnih troškovno uticajnih parametara može postići zadovoljavajuća tačnost procene troškova za početnu fazu projekta, i to uz mali uloženi napor. Dodavanje novih parametara može dovesti do povećanja tačnosti procene troškova, ali to zahteva značajnu količinu vremena i novca;
- Integracijom istorijskih podataka sa prethodnih projekata, empirijskog istraživanja (ankete) i metoda mašinskog učenja je formiran originalni hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta. Ovaj sistem predstavlja vredan doprinos, kako za nauku, tako i za građevinsku praksu.

7.3 Pravci daljih istraživanja

Predložena metodologija i dobijeni rezultati su praćeni određenim ograničenjima iz kojih proizilaze preporuke za pravce daljih istraživanja.

Najpre, formirana baza podataka ima par ograničenja koja upućuju buduća istraživanja u određene pravce. Glavno ograničenje u vezi sa bazom podataka proizilazi iz samog obima projekata koji su predmet istraživanja – projekti izgradnje auto-puteva. Broj ovakvih projekata, naročito u zemljama u razvoju, nije veliki. U ovoj disertaciji su, u okviru faze formiranja originalne baze podataka, u toku vremenskog perioda od preko godinu dana prikupljeni i sistematizovani odgovarajući podaci sa 68 projekata sa teritorija Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije i Crne Gore. Buduća istraživanja odnosiće se na proširenje baze podataka dodatnim podacima sa drugih projekata. Proširenje baze podacima sa projekata iz drugih zemalja naročito bi pružilo mogućnost detaljnije analize korelacija između pokazatelja društveno-ekonomskog stanja u državi i troškova izgradnje auto-puteva i identifikaciju uticaja geografskog područja na troškove.

Drugo ograničenje se odnosi na analizirane vrednosti projekata izgradnje auto-puteva. U disertaciji su predmet analize bile ugovorene vrednosti radova. Jedan od sledećih koraka istraživanja bi se trebao odnositi na prikupljanje podataka o stvarnim troškovima izvedenih radova i treniranje i validaciju modela na osnovu podataka o ostvarenim troškovima. Dodatno, koristeći proširenu bazu istorijskih podataka, naredne studije bi mogle da obuhvate analizu stepena prekoračenja troškova na projektima izgradnje auto-puteva i identifikaciju i kvantifikaciju rizika od prekoračenja troškova.

Na kraju, verovatno najvažniji pravac budućih istraživanja trebalo bi da razmatra metodološki pristup proceni troškova u širem kontekstu održivosti. Istraživanje perspektiva investitora i izvođača u vezi sa troškovima životnog ciklusa projekata auto-puteva moglo bi biti od suštinskog značaja za donošenje odluka koje bi vodile ka poboljšanju ekonomskih, društvenih i ekoloških aspekata održivosti. Shodno tome, prvi korak u navedenom pravcu bi podrazumevao proširivanje Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara dodatnim parametrima koji se odnose na druge faze životnog ciklusa projekata izgradnje auto-puteva, koje slede nakon faze izgradnje (naročito faze korišćenja i održavanja).

Literatura

- AACE International (2022) *AACE International Recommended Practice No. 18R-97. Cost Estimate Classification System - As Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries.*
- AASHTO (2013) *Practical Guide to Cost Estimating.* Washington, DC.
- AASHTO (2018) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials.* Available at: www.transportation.org.
- Adegoke, B. F. (2017) 'The Use of 80 : 20 Pareto Rule : A Guide in Testing Accuracy of Cost Estimating of Residential Buildings in Nigeria', in, pp. 330–340.
- Adel, K. *et al.* (2016) 'Developing Parametric Model for Conceptual Cost Estimate of Highway Developing Parametric Model for Conceptual Cost Estimate of Highway Projects', (November 2019).
- Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine (2022) 'Saobraćaj 2021'. Sarajevo. Available at: https://bhas.gov.ba/data/Publikacije/Bilteni/2022/TRA_00_2021_TB_1_BS.pdf.
- Ahmed, C. (2021) 'Early cost estimation models based on multiple regression analysis for road and railway tunnel projects', *Arabian Journal of Geosciences*. Arabian Journal of Geosciences, 14(11). doi: 10.1007/s12517-021-07359-x.
- Al-Zwainy, F. M. S. (2018) 'A state-of-the-art survey to estimate construction costs in highway and bridge projects: analytical diagnostic study', *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(5), pp. 795–821.
- Al-zwainy, F. M. S. and Aidan, I. A. (2017) 'Forecasting the Cost of Structure of Infrastructure Projects Utilizing Artificial Neural Network Model (Highway Projects as Case Study)', 10(May). doi: 10.17485/ijst/2017/v10i20/108567.
- Alshboul, O. *et al.* (2022) 'Extreme Gradient Boosting-Based Machine Learning Approach for Green Building Cost Prediction', *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). doi: 10.3390/su14116651.
- Alshemosi, A. M. B. and Alsaad, H. S. H. (2018) 'Factors Affecting in Cost Estimation Process for Construction Residential Projects', *Association of Arab Universities Journal of ...*, (2), pp. 91–102. Available at: <https://jaaru.org/index.php/auisseng/article/view/135>.
- Alshihri, S., Al-gahtani, K. and Almohsen, A. (2022) 'Risk Factors That Lead to Time and Cost Overruns of Building Projects in Saudi Arabia', *Buildings*, 12(7). doi: 10.3390/buildings12070902.

- Anderson, S., Molenaar, K. and Schexnayder, C. (2007) *Guidance for Cost Estimation and Management for Highway Projects During Planning, Programming, and Preconstruction*. Washington, DC.
- Andrić, J. M. *et al.* (2019) 'The cost performance and causes of overruns in infrastructure development projects in asia', *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(3), pp. 203–214. doi: 10.3846/jcem.2019.8646.
- Antoniou, F. *et al.* (2023) 'Cost and Material Quantities Prediction Models for the Construction of Underground Metro Stations', *Buildings*, 13(2). doi: 10.3390/buildings13020382.
- Armstrong, J. S. (1985) *Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer*. 2nd editio. Wiley-Interscience.
- Ashworth, A. (2010) *Cost of Studies Buildings*. 5th editio. England: Pearson Education Limited.
- Asmar, M. El *et al.* (2011) 'New Approach to Developing Conceptual Cost Estimates for Highway Projects', (November), pp. 942–949. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000355.
- Assaf, S. A. and Al-Hejji, S. (2006) 'Causes of delay in large construction projects', *International Journal of Project Management*, 24(4), pp. 349–357. doi: 10.1016/j.ijproman.2005.11.010.
- Bai, S. *et al.* (2019) 'Data mining approach to construction productivity prediction for cutter suction dredgers', *Automation in Construction*. Elsevier, 105(December 2018), p. 102833. doi: 10.1016/j.autcon.2019.102833.
- Barakchi, M., Torp, O. and Moges, A. (2017) 'Cost Estimation Methods for Transport Infrastructure: A Systematic Literature Review', 196(June), pp. 270–277. doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.199.
- Barnes, N. M. L. (1974) *Financial Control of Construction*. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- Beljkaš, Ž. *et al.* (2020) 'Application of Artificial Intelligence for the Estimation of Concrete and Reinforcement Consumption in the Construction of Integral Bridges', *Advances in Civil Engineering*, 2020. doi: 10.1155/2020/8645031.
- Beljkaš, Ž. and Knežević, M. (2021) 'Procjena troškova za integralne mostove primjenom umjetne inteligencije', *Građevinar*, 73(3), pp. 265–273.
- Berechman, J. (2003) 'Transportation-economic aspects of Roman highway development: The case of Via Appia', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(5), pp. 453–478. doi: 10.1016/S0965-8564(02)00056-3.
- Boussabaine, A. H. (1996) 'The use of artificial neural networks in construction

management: A review', *Construction Management and Economics*, 14(5), pp. 427–436. doi: 10.1080/014461996373296.

Cantarelli, C. C. *et al.* (2012) 'Different cost performance: Different determinants?. The case of cost overruns in Dutch transport infrastructure projects.', *Transport Policy*, 22, pp. 88–95. doi: 10.1016/j.tranpol.2012.04.002.

Catalão, F. P., Cruz, C. O. and Sarmiento, J. M. (2019) 'The determinants of cost deviations and overruns in transport projects, an endogenous models approach', *Transport Policy*. Elsevier Ltd, 74(March 2018), pp. 224–238. doi: 10.1016/j.tranpol.2018.12.008.

Catalão, F. P., Cruz, C. O. and Sarmiento, J. M. (2022) 'Public management and cost overruns in public projects', *International Public Management Journal*. Routledge, 25(5), pp. 677–703. doi: 10.1080/10967494.2020.1804498.

CEDR (2013) *Beautiful Roads of Europe*.

Cha, G. W. *et al.* (2020) 'Development of a prediction model for demolition waste generation using a random forest algorithm based on small datasets', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), pp. 1–15. doi: 10.3390/ijerph17196997.

Chen, T. and Guestrin, C. (2016) 'XGBoost: A scalable tree boosting system', in *Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. California CA USA, pp. 785–794.

Chou, J. S. (2011) 'Cost simulation in an item-based project involving construction engineering and management', *International Journal of Project Management*. Elsevier Ltd and IPMA, 29(6), pp. 706–717. doi: 10.1016/j.ijproman.2010.07.010.

Cirilovic, J. *et al.* (2013) 'Developing Cost Estimation Models for Road Rehabilitation and Reconstruction: Case Study of Projects in Europe and Central Asia', *Journal of Construction Engineering and Management*, (2013). doi: 10.1061/(ASCE)CO.

Creswell, J. W. (2009) *Research Design - Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. third edit, *Research Design - Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. third edit. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc. doi: 10.1093/nq/s4-I.25.577-c.

Creutzig, F. *et al.* (2015) 'Transport: A roadblock to climate change mitigation?', *Science*, 350(6263), pp. 911–912. doi: 10.1126/science.aac8033.

Cronbach, L. J. and Shavelson, R. J. (2004) 'My Current Thoughts on Coefficient Alpha and Successor Procedures', *Educational and Psychological Measurement*, 64(3), pp. 391–418. doi: 10.1177/0013164404266386.

Doloi, H. *et al.* (2012) 'Analysing factors affecting delays in Indian construction projects', *International Journal of Project Management*. APM and IPMA and Elsevier Ltd, 30(4), pp. 479–489. doi: 10.1016/j.ijproman.2011.10.004.

- Doloi, H. K. (2011) 'Understanding stakeholders' perspective of cost estimation in project management', *International Journal of Project Management*. International Project Management Association, 29(5), pp. 622–636. doi: 10.1016/j.ijproman.2010.06.001.
- Dong, W. *et al.* (2020) 'XGBoost algorithm-based prediction of concrete electrical resistivity for structural health monitoring', *Automation in Construction*. Elsevier, 114(January), p. 103155. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103155.
- Državni zavod za statistiku Severne Makedonije (2022) *Anketa o radnoj snazi*. Available at: https://makstat.stat.gov.mk/PXWeb/pxweb/en/MakStat/MakStat__PazarNaTrud__StapkiDrugiIndikator/088_PazTrud_Mk_StapNev_ang.px/?rxid=46ee0f64-2992-4b45-a2d9-cb4e5f7ec5ef (Accessed: 22 July 2022).
- Elbeltagi, E. *et al.* (2014) 'Conceptual Cost Estimate of Libyan Highway Projects Using Artificial Neural Network', *Journal of Engineering Research and Applications* *www.ijera.com*, 4(8), pp. 56–66. Available at: www.ijera.com.
- Elmasri, R. and Navathe, S. (2016) *Fundamentals od Database Systems*. 7th editio. Pearson.
- Elmousalami, H. H. (2020) 'Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review', *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), p. 03119008.
- European Commission (2014) *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, Publications Office of the European Union. doi: 10.2776/97516.
- European Commission (2021) *Contract Procedures for European Union external action - A practical guide*.
- European Investment Bank (2018) 'Guide to Procurement for Projects Financed by the EIB'.
- Eurostat (2020) *Energy, transport and environment statistics, 2020 edition*. European Union.
- Eurostat (2022a) *Freight transport statistics - modal split*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split (Accessed: 30 January 2023).
- Eurostat (2022b) *Length of motorways and e-roads*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ROAD_IF_MOTORWA/default/table?lang=en.
- Fallahnejad, M. H. (2013) 'Delay causes in Iran gas pipeline projects', *International Journal of Project Management*. Elsevier Ltd, 31(1), pp. 136–146. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.06.003.
- Federalni zavod za statistiku Bosne i Hercegovine (2022) *Anketa o radnoj snazi*. Available at: <http://fzs.ba/index.php/publikacije/saopcenjapriopcenja/ankete/anketa-o-radnoj->

snazi/ (Accessed: 22 July 2022).

- FHWA (2013) 'Highway Functional Classification Concepts, Criteria and Procedures', 4(3), pp. 57-71. Available at: <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>.
- Flyvbjerg, B. (2007) 'Cost overruns and demand shortfalls in urban rail and other infrastructure', *Transportation Planning and Technology*, 30(1), pp. 9-30. doi: 10.1080/03081060701207938.
- Flyvbjerg, B. et al. (2018) 'Five things you should know about cost overrun', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118(December), pp. 174-190. doi: 10.1016/j.tra.2018.07.013.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S. and Buhl, S. (2002) 'Underestimating costs in public works projects: Error or lie?', *Journal of the American Planning Association*, 68(3), pp. 279-295. doi: 10.1080/01944360208976273.
- Foy, M. (2019) *New Estimates of the Benefits of U.S. Highway Construction*. Available at: <https://www.nber.org/digest/apr19/new-estimates-benefits-us-highway-construction> (Accessed: 10 May 2021).
- Garcia de Soto, B. (2014) *A methodology to make accurate preliminary estimates of construction material quantities for construction projects*. ETH Zurich. Available at: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010025751>.
- Gardner, B. J. et al. (2017) 'Stochastic Conceptual Cost Estimating of Highway Projects to Communicate Uncertainty Using Bootstrap Sampling', *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 1-9. doi: 10.1061/AJRUA6.
- Gardner, B. J., Gransberg, D. D. and Jeong, H. D. (2016) 'Reducing Data-Collection Efforts for Conceptual Cost Estimating at a Highway Agency', *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(11), p. 04016057. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001174.
- Goh, K. C. and Yang, J. (2014) 'Importance of Sustainability-Related Cost Components in Highway Infrastructure: Perspective of Stakeholders in Australia', *Journal of Infrastructure Systems*, 20(1), pp. 1-9. doi: 10.1061/(asce)is.1943-555x.0000152.
- Hatamleh, M. T. et al. (2018) 'Engineering , Construction and Architectural Management Article information':
- He, X., Liu, R. and Anumba, C. J. (2021) 'Data-Driven Insights on the Knowledge Gaps of Conceptual Cost Estimation Modeling', *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2), p. 04020165. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001963.
- Hegazy, T. and Ayed, A. (1998) 'Neural Network Model for Parametric Cost Estimation of Highway Projects', *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(3), pp. 210-218.

- International Society of Parametric Analysts (2008) *Parametric Estimating Handbook*. 4th edn. Vienna, VA. Available at: [https://www.dau.edu/tools/Lists/DAUTools/Attachments/112/Parametric Handbook 4th Edition.pdf](https://www.dau.edu/tools/Lists/DAUTools/Attachments/112/Parametric%20Handbook%204th%20Edition.pdf) (Accessed: 22 February 2023).
- Ivković, B., Popović, Ž. and Stojadinović, Z. (2021) *Upravljanje projektima u građevinarstvu IV izmenjeno i dopunjeno izdanje*. Beograd: CFP Apostrof Beograd.
- Ji, S. *et al.* (2019) 'Cost Estimation Model Using Modified Parameters for Construction Projects', *Advances in Civil Engineering*, 2019.
- JP Putevi Srbije (2011) 'Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji - Sistem za odvodnjavanje'. Beograd: JP Putevi Srbije. Available at: [http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/harmonizacija/prirucnik_za_projektovanje_puteva/SRDM8-3-sistem-za-odvodnjavanje\(120503-srb-konacna\).pdf](http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/harmonizacija/prirucnik_za_projektovanje_puteva/SRDM8-3-sistem-za-odvodnjavanje(120503-srb-konacna).pdf).
- JP Putevi Srbije (2022) *O nama*. Available at: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/o-nama/o-nama1> (Accessed: 23 February 2023).
- Karaca, I. *et al.* (2020) 'Improving the Accuracy of Early Cost Estimates on Transportation Infrastructure Projects', *Advances in Civil Engineering*, 36(5), pp. 1–11. doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000819.
- Katanić, J., Andjus, V. and Maletin, M. (1983) *Projektovanje puteva*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Kim, D. Y., Kim, B. and Han, S. H. (2008) 'Two-staged early cost estimation for highway construction projects', *ISARC 2008 - Proceedings from the 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, pp. 490–495. doi: 10.3846/isarc.20080626.490.
- Kim, G. H., An, S. H. and Kang, K. I. (2004) 'Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning', *Building and Environment*, 39(10), pp. 1235–1242. doi: 10.1016/j.buildenv.2004.02.013.
- Kim, S. (2013) 'Hybrid forecasting system based on case-based reasoning and analytic hierarchy process for cost estimation', *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(1), pp. 86–96. doi: 10.3846/13923730.2012.737829.
- Koc, K., Ekmekcioğlu, Ö. and Gurgun, A. P. (2021) 'Integrating feature engineering, genetic algorithm and tree-based machine learning methods to predict the post-accident disability status of construction workers', *Automation in Construction*, 131(August). doi: 10.1016/j.autcon.2021.103896.
- Koch, R. (1998) *The 80/20 principle: The secret of achieving more with less*. London: Nicholas Brealey Publishing Ltd. doi: 10.1016/s0024-6301(97)80978-8.
- Kovacevic, M. *et al.* (2021) 'Construction cost estimation of reinforced and prestressed concrete bridges using machine learning', *Gradjevinar*, 73(1), pp. 1–13. doi:

10.14256/JCE.2738.2019.

- Kovačević, M. *et al.* (2023) 'Decision-Support System for Estimating Resource Consumption in Bridge Construction Based on Machine Learning', *Axioms*. doi: 10.3390/axioms12010019.
- Kragulj, D. and Fakultet organizacionih nauka (2016) *Makroekonomski agregati*. Available at: <http://ekonomija.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2016/11/2016-Sajt-P5.pdf> (Accessed: 15 March 2023).
- Larsen, J. K. *et al.* (2016) 'Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun, and Quality Level in Public Construction Projects', *Journal of Management in Engineering*, 32(1). doi: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000391.
- Le, C. *et al.* (2019) 'Geographic Information System-Based Framework for Estimating and Visualizing Unit Prices of Highway Work Items', *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(8), p. 04019044. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001672.
- Li, M., Baek, M. and Ashuri, B. (2021) 'Forecasting Ratio of Low Bid to Owner's Estimate for Highway Construction', *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(1), p. 04020157. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001970.
- Liang, Y., Ashuri, B. and Li, M. (2021) 'Forecasting the Construction Expenditure Cash Flow for Transportation Design-Build Projects with a Case-Based Reasoning Model', *Journal of Construction Engineering and Management*. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002054.
- Lind, H. and Brunes, F. (2015) 'Explaining cost overruns in infrastructure projects: A new framework with applications to Sweden', *Construction Management and Economics*, 33(7), pp. 554–568. doi: 10.1080/01446193.2015.1064983.
- Liu, S. *et al.* (2021) 'Application of artificial neural networks in construction management: Current status and future directions', *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(20). doi: 10.3390/app11209616.
- Longfellow, R. (2017) *Back in Time. Building Roads*. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/back0506.cfm> (Accessed: 7 May 2021).
- Lowe, D. J., Emsley, M. W. and Harding, A. (2006) 'Predicting Construction Cost Using Multiple Regression Techniques', *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), pp. 750–758. doi: 10.1007/978-3-030-22273-4_3.
- Luo, W. *et al.* (2021) 'Construction cost and carbon emission assessment of a highway construction—a case towards sustainable transportation', *Sustainability*, 13(14). doi: 10.3390/su13147854.
- Mahalakshmi, G. and Rajasekaran, C. (2018) *Early Cost Estimation of Highway Projects in India Using Artificial Neural Network*. Springer Singapore. doi: 10.1007/978-981-13-3317-0.

- Mahamid, I. (2011) 'Early Cost Estimating for Road Construction Projects Using Multiple Regression Techniques', (December 2011). doi: 10.5130/ajceb.v11i4.2195.
- Mahdavian, A. *et al.* (2021) 'Data-Driven Predictive Modeling of Highway Construction Cost Items', *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(3), p. 04020180. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001991.
- Maheshwari, S. *et al.* (2022) 'An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing', *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 69(9), pp. 3512–3525. doi: 10.1109/TCSI.2022.3182577.
- Maletin, M. (2004) *Planiranje saobraćaja i prostora*. Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Neogradu.
- Meharie, M. G. *et al.* (2019) 'An Effective Approach to Input Variable Selection for Preliminary Cost Estimation of Construction Projects', *Advances in Civil Engineering*, 2019, pp. 5–9.
- Meharie, M. G. and Shaik, N. (2020) 'Predicting highway construction costs: Comparison of the performance of random forest, neural network and support vector machine models', *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 4(2), pp. 103–112. doi: 10.22115/SCCE.2020.226883.1205.
- Melaku Belay, S. *et al.* (2021) 'Analysis of Cost Overrun and Schedule Delays of Infrastructure Projects in Low Income Economies: Case Studies in Ethiopia', *Advances in Civil Engineering*, 2021. doi: 10.1155/2021/4991204.
- Membah, J. and Asa, E. (2015) 'Estimating cost for transportation tunnel projects: A systematic literature review', *International Journal of Construction Management*, 15(3), pp. 196–218. doi: 10.1080/15623599.2015.1067345.
- Memon, A. H., Abdul Rahman, I. and Abdul Aziz, A. A. (2012) 'The cause factors of large project's cost overrun: a survey in the southern part of Peninsular Malaysia', *International Journal of Real Estate Studies (INTREST)*, 7(2), pp. 1–15. Available at: [http://eprints.uthm.edu.my/5007/1/2012_Study_of_causes_of_COR_in_large_projects_of_south_\(INTRESTS\)_-.pdf](http://eprints.uthm.edu.my/5007/1/2012_Study_of_causes_of_COR_in_large_projects_of_south_(INTRESTS)_-.pdf).
- Mikić, M. (2015) *Upravljanje rizicima pri izgradnji kapitalnih infrastrukturnih objekata u cilju poboljšanja njihove održivosti*. Univerzitet u Beogradu.
- Mišković, V. (2008) *Induktivno učenje razumljivog znanja na osnovu oskudnih obučavajućih skupova*. Univerzitet Singidunum.
- Mislick, G. and Nussbaum, D. (2015) *Cost Estimation: Methods and Tools*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Mohamed, B. and Moselhi, O. (2022) 'Conceptual Estimation of Construction Duration and

Cost of Public Highway Projects', *Journal of Information Technology in Construction*, 27(May), pp. 595–618. doi: 10.36680/j.itcon.2022.029.

Moon, S. *et al.* (2015) 'Applying Pareto Principle to Process Control in Construction', *International Conference on Innovative Production and Construction*, (July 2015).

De Myttenaere, A. *et al.* (2016) 'Mean Absolute Percentage Error for Regression Models', *Neurocomputing*. Elsevier, 192, pp. 38–48. doi: 10.1016/j.neucom.2015.12.114.

Nabil Ibrahim El-Sawalhi (2015) 'Support Vector Machine Cost Estimation Model for Road Projects', *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9(9). doi: 10.17265/1934-7359/2015.09.012.

National Aeronautics and Space Administration (2015) *NASA Cost Estimation Handbook (CEH)*. 4th edn. Washington, DC. Available at: https://www.nasa.gov/pdf/263676main_2008-NASA-Cost-Handbook-FINAL_v6.pdf (Accessed: 22 February 2023).

Nikolić, A. *et al.* (2020) 'Has the latest global financial crisis changed the way road public-private partnerships are funded? A comparison of Europe and Latin America', *Utilities Policy*, 64, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.jup.2020.101044.

Odeck, J. (2004) 'Cost overruns in road construction – what are their sizes and determinants?', *Transport Policy*. Elsevier, 11(1), pp. 43–53. doi: 10.1016/S0967-070X(03)00017-9.

OECD (2002) *Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Development, Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Development*. Paris. doi: 10.1787/9789264193529-en.

OECD (2020) *Transport Infrastructure Investment and Maintenance Spending*. Available at: <https://stats.oecd.org/> (Accessed: 12 January 2021).

OECD (2022) *Transport infrastructure investment and maintenance spending*. Available at: <https://stats.oecd.org/>.

Ostheimer, J., Chowdhury, S. and Iqbal, S. (2021) 'An alliance of humans and machines for machine learning: Hybrid intelligent systems and their design principles', *Technology in Society*. Elsevier Ltd, 66, p. 101647. doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101647.

Paraphantakul, C. (2014) 'Review of Worldwide Road Classification Systems', *9th National Transportation Conference*, (November). doi: 10.13140/RG.2.1.4579.7843.

Peško, I. *et al.* (2017) 'Estimation of Costs and Durations of Construction of Urban Roads Using ANN and SVM', *Complexity*, 2017.

Peško, I. N. (2013) *Model za procenu troškova i vremena izgradnje gradskih saobraćajnica*. Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka.

- Petronijević, M. *et al.* (2015) 'AHP Based Contractor Selection Procedure for Highway Infrastructure Projects in Serbia', (October), pp. 206–214.
- Petroutsatou, C., Lambropoulos, S. and Pantouvakis, J.-P. (2006) 'Road tunnel early cost estimates using multiple regression analysis', *Operational Research*, 6(3), pp. 311–322. doi: 10.1007/bf02941259.
- Petroutsatou, K. *et al.* (2012) 'Early Cost Estimating of Road Tunnel Construction Using Neural Networks', *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(6), pp. 679–687. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000479.
- Petroutsatou, K., Maravas, A. and Saramourtsis, A. (2021) 'A life cycle model for estimating road tunnel cost', *Tunnelling and Underground Space Technology*. Elsevier Ltd, 111(January), p. 103858. doi: 10.1016/j.tust.2021.103858.
- Petrusheva, Cr-Pušić and Zileska-Pencovska (2019) 'Support Vector Machine Based Hybrid Model for Prediction of Road Structures Construction Costs', pp. 0–11. doi: 10.1088/1755-1315/222/1/012010.
- Pewdum, W., Rujirayanyong, T. and Sooksatra, V. (2009) 'Forecasting final budget and duration of highway construction projects', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 16(6), pp. 544–557. doi: 10.1108/09699980911002566.
- PMI (2016) *Construction Extension to the PMBOK Guide*. Project Management Institut.
- PMI (2017) *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Project Management Institut.
- Republic of North Macedonia Public Enterprise of State Roads (2022) *Road network*. Available at: <http://www.roads.org.mk/255/road-network> (Accessed: 24 February 2023).
- Republički zavod za statistiku (2022) *Mesečni statistički bilten*. Available at: <https://www.stat.gov.rs/sr-cyrl/publikacije/?d=3&r=> (Accessed: 17 June 2022).
- Republički zavod za statistiku Srbije (2022) *Anketa o radnoj snazi*. Available at: <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/trziste-rada/anketa-o-radnoj-snazi> (Accessed: 22 July 2022).
- RICS (2020) *Cost Prediction*. London.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C. and Slack, B. (2013) 'Transport, energy and environment', *The Geography of Transport Systems*, pp. 288–310. doi: 10.4324/9781315618159-8.
- Rostami, J. *et al.* (2013) 'Planning level tunnel cost estimation based on statistical analysis of historical data', *Tunnelling and Underground Space Technology*. Elsevier Ltd, 33, pp. 22–33. doi: 10.1016/j.tust.2012.08.002.
- Savransky, S. D. (2000) *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive*

Problem Solving. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

- Sayed, M., Abdel-Hamid, M. and El-Dash, K. (2020) 'Improving cost estimation in construction projects', *International Journal of Construction Management*. Taylor & Francis, 0(0), pp. 1–20. doi: 10.1080/15623599.2020.1853657.
- Serdar Durdyev (2012) 'Pareto analysis of on-site productivity constraints and improvement techniques in construction industry', *Scientific Research and Essays*, 7(7), pp. 824–833. doi: 10.5897/sre12.005.
- Shannon, G. *et al.* (2014) 'Road traffic noise modifies behaviour of a keystone species', *Animal Behaviour*, 94, pp. 135–141. doi: 10.1016/j.anbehav.2014.06.004.
- Shao, Z. and Er, M. J. (2016) 'Efficient Leave-One-Out Cross-Validation-based Regularized Extreme Learning Machine', *Neurocomputing*. Elsevier, 194, pp. 260–270. doi: 10.1016/j.neucom.2016.02.058.
- Shatz, J. H., Kitchens, E. K. and Wachs, M. (2011) *Highway Infrastructure and the Economy: Implications for Federal Policy*. RAND Corporation.
- Shehab, T. *et al.* (2010) 'Cost Estimating Models for Utility Rehabilitation Projects':, (August), pp. 104–110.
- Shehadeh, A. *et al.* (2021) 'Machine learning models for predicting the residual value of heavy construction equipment: An evaluation of modified decision tree, LightGBM, and XGBoost regression', *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 129(November 2020), p. 103827. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103827.
- Simić, N. *et al.* (2021) 'Primena mašinskog učenja za procenu cena i količina radova pri izgradnji stambenih i stambeno-poslovnih objekata', *Izgradnja*, (75), pp. 124–132.
- Simić, N. *et al.* (2023) 'Early Highway Construction Cost Estimation: Selection of Key Cost Drivers'. doi: 10.3390/su15065584.
- Sodikov, J. (2005) 'Cost Estimation of Highway Projects in Developing Countries: Artificial Neural Network Approach', *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6(January 2005), pp. 1036–1047.
- Sodikov, J. (2009) 'Road Cost Models for Prefeasibility Studies', *Journal of Infrastructure Systems*, (December), pp. 278–289.
- Sodikov, J. (2010) *Development Level of Analysis for Road Cost Models*, *Baltic journal of road and bridge engineering*. Tashkent Automobile Road Institute. doi: 10.13140/RG.2.2.14226.66243.
- Stewart, R. (1991) *Cost Estimating*. 2nd editio. Wiley-Interscience.
- Stojčetočić, B. *et al.* (2016) 'Application of the Pareto Analysis in Project Management', *9th International Quality Conference*, (June 2015), pp. 655–658. Available at:

http://www.cqm.rs/2015/cd1/pdf/papers/focus_2/103.pdf.

- Tadesse, N. and Dinku, A. (2017) 'Conceptual cost estimation of road projects in Ethiopia using neural networks', *Journal of EEA*, 35(0), pp. 17-29.
- Tas, E. and Yaman, H. (2005) 'A building cost estimation model based on cost significant work packages', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 12(3), pp. 251-263. doi: 10.1108/09699980510600116.
- Tayefeh Hashemi, S., Ebadati, O. M. and Kaur, H. (2020) 'Cost estimation and prediction in construction projects: a systematic review on machine learning techniques', *SN Applied Sciences*. Springer International Publishing, 2(10), pp. 1-27. doi: 10.1007/s42452-020-03497-1.
- The World Bank (2014) 'Guidelines - Procurement of Goods, Works and Non-Consulting Services Under IBRD Loans and IDA credits & Grants by World Bank Borrowers', (January 2011), p. 54.
- Tijanić, K., Car-Pušić, D. and Šperac, M. (2020) 'Cost estimation in road construction using artificial neural network ' 1', *Neural Computing and Applications*, 0123456789, pp. 9343-9355. doi: 10.1007/s00521-019-04443-y.
- Torp, O. and Klakegg, O. J. (2016) 'Challenges in cost estimation under uncertainty – a case study of the decommissioning of barsebäck nuclear power plant', *Administrative Sciences*, 6(4). doi: 10.3390/admsci6040014.
- Torres, A., Jaeger, J. A. G. and Alonso, J. C. (2016) 'Assessing large-scale wildlife responses to human infrastructure development', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(30), pp. 8472-8477. doi: 10.1073/pnas.1522488113.
- Transparency International (2022) *What we do*. Available at: <https://www.transparency.org/en/what-we-do> (Accessed: 15 February 2022).
- Tsunokawa, K. T. (1983) *Evaluation and Improvement of Road Construction Cost Models*. Washington D.C.
- Turochy, R. E., Hoel, L. A. and Doty, R. S. (2001) 'Highway project cost estimating methods used in the planning stage of project development', *Virginia Transportation Research Council*, p. 40.
- Uprava za statistiku Crne Gore (2023) *Anketa o radnoj snazi*. Available at: <https://www.monstat.org/cg/page.php?id=22&pageid=22> (Accessed: 15 March 2023).
- Uysal, F. and Sonmez, R. (2023) 'Bootstrap Aggregated Case-Based Reasoning Method for Conceptual Cost Estimation', *Buildings*, 13(3), p. 651. doi: 10.3390/buildings13030651.
- Vitkienė, J., Puodžiukas, V. and Žilionienė, D. (2017) 'New approach to the Lithuanian road classification based on worldwide experience', *10th International Conference on*

Environmental Engineering, ICEE 2017, (August). doi: 10.3846/enviro.2017.155.

Vlada Republike Srbije (2019) *Zakon o javnim nabavkama*. Srbija: Sl. glasnik RS, br. 91/2019.

Weiss, D. J. *et al.* (2018) 'A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015', *Nature*. Nature Publishing Group, 553(7688), pp. 333–336. doi: 10.1038/nature25181.

Wilmot, C. G. and Cheng, G. (2003) 'Estimating Future Highway Construction Costs', *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(3), pp. 272–279. doi: 10.1061/(asce)0733-9364(2003)129:3(272).

Wilmot, C. G. and Mei, B. (2005) 'Neural Network Modeling of Highway Construction Costs', *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(7), pp. 765–771. doi: 10.1061/(asce)0733-9364(2005)131:7(765).

World Bank (2022a) *GDP growth (annual %)*. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG> (Accessed: 20 November 2022).

World Bank (2022b) *Unemployment, total*. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.TOTL.ZS> (Accessed: 20 November 2022).

World Bank (2022c) *Worldwide Governance Indicators*. Available at: <https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators> (Accessed: 20 November 2022).

World economic forum (2015) *How far do roads contribute to development?* Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2015/12/how-far-do-roads-contribute-to-development/> (Accessed: 13 January 2021).

Xie, W. *et al.* (2022) 'Critical Factors Influencing Cost Overrun in Construction Projects : A Fuzzy Synthetic Evaluation', *Buildings*, pp. 1–19.

Zakon o putevima (2018) 'Vlada Republike Srbije', *Službeni glasnik Republike Srbije br. 41/2018 i 95/2018*. Beograd.

Zhang, Y. *et al.* (2017) 'Forecasting Completed Cost of Highway Construction Projects Using LASSO Regularized Regression', *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(10), p. 04017071. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001378.

Prilog A

ANKETNI UPITNIK

Ovaj upitnik se dostavlja ciljanoj grupi eksperata za potrebe istraživanja percepcija ključnih učesnika na projektu (investitora i izvođača) o nivou uticaja pojedinih parametara na troškove gradnje auto-puteva i nivou napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost parametra odredila za konkretni projekat. Rezultati ankete su anonimni i koristiće se isključivo za potrebe naučno-istraživačkog rada i za izradu doktorske disertacije.

Upitnik se sastoji iz sledeća četiri dela:

DEO 1 sadrži opšta pitanja vezana za stručno iskustvo ispitanika, kao i pitanja koja nastoje da istraže postojeću praksu procene troškova gradnje auto-puteva u kompanijama ispitanika.

DEO 2 sadrži Preliminarnu listu troškovno uticajnih parametara grupisanih u 7 kategorija. Kako bi se sagledao nivo uticaja svakog od parametara na troškove gradnje auto-puteva, potrebno je svakom parametru dodeliti ocenu na skali od 1 do 5, i to na sledeći način:

Nema uticaja ili veoma mali uticaj	1
Mali uticaj	2
Srednji uticaj	3
Veliki uticaj	4
Veoma veliki uticaj	5

DEO 3 takođe sadrži parametre iz Preliminarne liste troškovno uticajnih parametara. Cilj ovog dela upitnika je sagledavanje nivoa napora potrebnog za određivanje svakog od parametara. Pod nivoom napora se u ovom upitniku podrazumevaju vreme i novac koje je potrebno uložiti kako bi se vrednost parametra odredila za konkretni projekat. Svakom parametru je potrebno dodeliti ocenu na skali od 1 do 5, na sledeći način:

Minimalni napor	1
Mali napor	2
Srednji napor	3
Veliki napor	4
Veoma veliki napor	5

DEO 3 sadrži tabelu u kojoj je moguće dopisati dodatne troškovno uticajne parametre ukoliko smatrate da su izostavljeni u listi ponuđenih parametara. Za dodate parametre je potrebno uneti ocene nivoa uticaja i nivoa napora (na prethodno opisan način).

DEO 2 - OCENA NIVOVA UTICAJA PARAMETARA

Molim Vas, za svaki parametar ocenite njegov uticaj na troškove gradnje auto-puteva ocenom na skali od 1 do 5 (1 - nema uticaja ili veoma mali uticaj, 2 - mali uticaj, 3 - srednji uticaj, 4 - veliki uticaj, 5 - veoma veliki uticaj)

Parametri vezani za trasu auto-puta (Highway alignment)
HA.1 Zastupljenost određenog tipa terena (ravničarski, brdovit, planinski) u dužini deonice Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.2 Postojanje velikih značajnih objekata u sklopu trase Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.3 Broj denivelisanih raskrsnica (petlji) Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.4 Dužina mostova na petljama Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.5 Računska brzina Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.6 Učešće otvorene trase u dužini deonice Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.7 Učešće mostova u dužini deonice Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>

HA.8 Učešće tunela u dužini deonice

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

Parametri vezani za mostove (Bridges)

B.1 Najveća dužina mosta na deonici

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

B.2 Velika visina stubova ekstremnih mostova

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

B.3 Velika dužina raspona ekstremnih mostova

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

Parametri vezani za tunele (Tunnel)

T.1 Broj tunelskih cevi

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

T.2 Najveća dužina tunela na deonici

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

T.3 Metoda iskopa tunela

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

Ugovorni parametri (Contract)						
C.1 Planirano trajanje radova						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						
C.2 Tip ugovora (žuti FIDIC, crveni FIDIC...)						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						
C.3 Vrsta tenderskog postupka (pregovorački postupak, otvoreni postupak)						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						
C.4 Postojanje klizne skale						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						
C.5 Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						
C.6 Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						

Ekonomski parametri (Economic)						
EC.1 Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						
EC.2 Promena cena dizel goriva						
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>						

EC.3 Prosečna bruto zarada u građevinarstvu
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
EC.4 Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
EC.5 Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
EC.6 Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
EC.7 Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>

Društveni parametri (Social)
S.1 Nivo korupcije
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
S.2 Indeks efektivnosti Vlade - brzina Vlade u rešavanju problema
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
S.3 Politička stabilnost
Nivo uticaja na troškove: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>

S.4 Stopa nezaposlenosti

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

Mere zaštite životne sredine (Environmental)

EN.1 Mere zaštite od saobraćajne buke

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

EN.2 Mere zaštite površinskih i podzemnih voda (vrsta odvodnjavanja)

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

EN.3 Mere zaštite flore i faune

Nivo uticaja na troškove: 1 2 3 4 5 Ne znam

DEO 3 - OCENA NIVOVA NAPORA

Molim Vas, na skali od 1 do 5 ocenite nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se vrednost troškovno uticajnog parametra odredila za konkretni projekat (1 - minimalni napor, 2 - mali napor, 3 - srednji napor, 4 - veliki napor, 5 - veoma veliki napor)

Parametri vezani za trasu auto-puta (Highway alignment)
HA.1 Zastupljenost određenog tipa terena (ravničarski, brdovit, planinski) u dužini deonice Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.2 Postojanje velikih značajnih objekata u sklopu trase Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.3 Broj denivelisanih raskrsnica (petlji) Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.4 Dužina mostova na petljama Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.5 Računska brzina Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.6 Učešće otvorene trase u dužini deonice Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
HA.7 Učešće mostova u dužini deonice Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>

HA.8 Učešće tunela u dužini deonice

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

Parametri vezani za mostove (Bridges)

B.1 Najveća dužina mosta na deonici

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

B.2 Velika visina stubova ekstremnih mostova

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

B.3 Velika dužina raspona ekstremnih mostova

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

Parametri vezani za tunele (Tunnel)

T.1 Broj tunelskih cevi

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

T.2 Najveća dužina tunela na deonici

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

T.3 Metoda iskopa tunela

Nivo napora: 1 2 3 4 5 Ne znam

Ugovorni parametri (Contract)
<p>C.1 Planirano trajanje radova</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>C.2 Tip ugovora (žuti FIDIC, crveni FIDIC...)</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>C.3 Vrsta tenderskog postupka (pregovorački postupak, otvoreni postupak)</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>C.4 Postojanje klizne skale</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>C.5 Finansiranje projekta iz državnog budžeta ili zajmovima i grantovima</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>C.6 Učešće više međunarodnih finansijskih institucija u finansiranju projekta</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>

Ekonomski parametri (Economic)
<p>EC.1 Opšta inflacija (indeks potrošačkih cena)</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>EC.2 Promena cena dizel goriva</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>

<p>EC.3 Prosečna bruto zarada u građevinarstvu</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>EC.4 Promena cena elemenata i materijala za ugrađivanje u građevinarstvu</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>EC.5 Indeks vrednosti novih ugovorenih radova u državi</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>EC.6 Indeks broja izdatih građevinskih dozvola u godini</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>EC.7 Stopa rasta bruto domaćeg proizvoda</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>

<p>Društveni parametri (Social)</p>
<p>S.1 Nivo korupcije</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>S.2 Indeks efektivnosti Vlade - brzina Vlade u rešavanju problema</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>
<p>S.3 Politička stabilnost</p> <p>Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/></p>

S.4 Stopa nezaposlenosti
Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>

Mere zaštite životne sredine (Environmental)
EN.1 Mere zaštite od saobraćajne buke
Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
EN.2 Mere zaštite površinskih i podzemnih voda (vrsta odvodnjavanja)
Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>
EN.3 Mere zaštite flore i faune
Nivo napora: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/>

DEO 4 - OSTALI PARAMETRI

Ukoliko smatrate da je neki troškovno uticajni parametar izostavljen, molim Vas da ga dopišete u tabeli ispod i ocenite nivo njegovog uticaja na troškove gradnje auto-puteva, kao i nivo napora koji je potrebno uložiti kako bi se parametar odredio.

Naziv parametra	Uticaj	Napor

Rezultati istraživanja su anonimni i biće korišćeni isključivo u naučno-istraživačke svrhe.

Hvala Vam na izdvojenom vremenu i uloženom trudu!

Nevena Simić, master inž. građ, MSc CEng
 Asistent - student doktorskih studija
 Katedra za upravljanje projektima u građevinarstvu
 Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu
 Telefon: 064/32-35-856
 Email: nsimic@grf.bg.ac.rs

Biografija autora

Nevena Simić je rođena 27.08.1990. godine u Valjevu. U Ubu je završila osnovnu školu „Milan Munjas“ i gimnaziju „Branislav Petronijević“.

Osnovne akademske studije na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu je upisala 2009. godine. Diplomirala je 2013. godine na modulu za Menadžment, tehnologije i informatiku u građevinarstvu, sa prosečnom ocenom 8,88 i ocenom 10 na završnom radu. Master akademske studije je završila 2014. godine na istom fakultetu sa prosečnom ocenom 10,00 i ocenom 10 na master radu. U oktobru 2014. godine je upisala doktorske akademske studije na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu i položila je sve ispite predviđene nastavnim planom i programom sa prosečnom ocenom 10,00.

Tokom studiranja je bila angažovana kao student demonstrator u izvođenju vežbi na Katedri za upravljanje projektima u građevinarstvu. Od novembra 2014. godine je bila zaposlena u Razvojnom centru Građevinskog fakulteta kao inženjer saradnik u nadzoru. Od septembra 2015. godine je zaposlena na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu u zvanju asistenta–studenta doktorskih studija za užu naučnu oblast Menadžment i tehnologija građenja na Katedri za upravljanje projektima u građevinarstvu.

Autor je ili koautor 15 istraživačkih radova, od čega su 2 objavljena u časopisima indeksiranim na SCI listi. Bila je anagažovana u okviru projekta tehnološkog razvoja, TR 36038, finansiranom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Govori engleski jezik i služi se francuskim i nemačkim jezikom.

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: Nevena R. Simić

Broj indeksa: 901/14

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

**Hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama
razvoja projekta**

- 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 kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, 23.06.2023.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Nevena R. Simić
Broj indeksa: 901/14
Studijski program: Građevinarstvo
Naslov rada: **Hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta**
Mentor: Prof. dr Nenad Ivanišević, dipl. građ. inž., dipl. pravnik

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da je objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora 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, 23.06.2023.

Izjava o korišćenju

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

Hibridni sistem za procenu troškova izgradnje auto-puteva u početnim fazama razvoja projekta

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la 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 odlučio/la.

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).

Potpis autora

U Beogradu, 23.06.2023.

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate 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.** Dozvoljavate 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.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, 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.** Dozvoljavate 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.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, 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.** Dozvoljavate 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 dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.