

Model procjene troškova životnog ciklusa pontona kao podrška sustavu upravljanja marinama

Gudac Hodanić, Ivona

Doctoral thesis / Disertacija

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:981492>

Rights / Prava: [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**



Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

Poslijediplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

Doktorska disertacija

Model procjene troškova životnog ciklusa pontona kao
podrška sustavu upravljanja marinama

Diplomirani inženjer građevinarstva, Ivona Gudac Hodanić

Osijek, rujan 2020. godine

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Postgraduate University Study Programme in Civil Engineering

Doctoral dissertation

Life cycle cost estimation model of pontoons as a support for
marina management system

Civil Engineer, Ivona Gudac Hodanić

Osijek, September 2020.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je doktorska disertacija isključivo rezultat vlastitoga rada, koji se temelji na vlastitim istraživanjima te oslanja na objavljenu literaturu, što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te kako nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem kako nisam prijavila doktorsku disertaciju s istovjetnom temom na drugom studiju Sveučilišta ili na drugom sveučilištu.

Osijek, 24.09.2020.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Guda', written on a light blue grid background.

(potpis autora)

SAŽETAK

Svjedoci smo sazrijevanja brige i interesa za održivu pametnu gradnju, čiji se sustav sastoji od sudionika u gradnji, proizvoda te procesa gradnje, održavanja i upravljanja i njihovih međuodnosa. Takav trend predstavlja glavni pokretač povećanja uporabe metode izračuna troškova životnog ciklusa. Dok su održive građevine napredovale u mnogim segmentima, ipak je financijska održivost ta koja određuje u kojoj je mjeri građevini dopušteno biti održiva. Problematika upravljanja marinama djelomično potječe od manjka provjerenih podataka potrebnih za odlučivanje o budućim investicijama i troškovima održavanja i uporabe, prikupljanja podataka, načina obrade i pohranjivanja u baze podataka, a djelomično zbog različitih ciljeva i proturječnih općih i pojedinačnih interesa sudionika u procesu upravljanja. Značajan je i nedostatak temelja praktičnog izračuna troškova životnog ciklusa povezanog s određivanjem strukture troškova, kao i metoda i alata za procjenu tih troškova. Poznavanje strukture troškova životnog ciklusa marine važan je dio procesa upravljanja marinama, koji bi se trebao zasnivati na znanstveno istraženim i praktično potvrđenim metodama, posebice u trenutku koncipiranja i odabira načina gradnje marine. Uočena je potreba za definiranjem troškova životnog ciklusa marine koji bi se formulirali kroz opći generički model, temeljen na konceptu analize troškova životnog ciklusa. Obuhvat modela procjene troškova životnog ciklusa u ovome radu ograničen je na pontone i sidreni sustav pontona i plovila. Primarni cilj korištenja modela je procjena i optimizacija troškova životnog ciklusa, kako bi se različite mogućnosti gradnje mogle kvantitativno usporediti unutar istog procesa donošenja odluka. U radu su primijenjene metode strojnog učenja, kako bi se mogli ispitati međuodnosi prikupljenih podataka. Istraživanje obuhvaća utvrđivanje svih izravnih i neizravnih troškova gradnje, održavanja, popravaka, zamjena i uporabe pontona, oblikovanje osnovnih modela strojnog učenja, njihovu usporedbu te odabir najpovoljnijeg modela s optimalnim odabirom broja ulaznih varijabli i optimizacijom parametara modela u ovisnosti o računalno i podatkovno dostupnim resursima. Dobiveni model omogućit će procjenu troškova uporabe i troškova životnog ciklusa pontona te povećanje razine kvalitete odlučivanja i na taj način dati osnovu za razvoj modela u smjeru kvantitativne usporedbe različitih mogućnosti gradnje.

KLJUČNE RIJEČI: Troškovi životnog ciklusa, modeli procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava pontona i plovila, upravljanje marinama, strojno učenje

Autor: Ivona Gudac Hodanić, dipl.ing.građ.
Mentor: izv.prof.dr.sc. Hrvoje Krstić, dipl.ing.građ.
Komentor: doc.dr.sc. Igor Ružić, dipl.ing.građ.

ABSTRACT

The care and interest for sustainable smart construction whose system consists of participants in construction, products and the process of construction, maintenance and management and their interrelationships is growing more and more stronger. Such a trend is the main driver for increased use of life cycle costing methods. While sustainable buildings have progressed in many aspects, it is financial sustainability that determines the extent to which a building is allowed to be sustainable. The problem of marina management stems partly from the lack of verified data needed for decision-making on maintenance and operation costs and future investments, their collection, processing and storage in databases, and partly due to different goals and conflicting general and individual interests of participants in the management process. What is also significant is the lack of a practical calculation of life cycle costs basis associated with determining the cost structure, as well as methods and tools for estimating these costs. Knowing the structure of marina life cycle costs is an important part of the marina management process, which should be based on scientifically researched and practically validated methods, especially in the beginning stages of conceptualization and selection of construction methods. A need to define marina life cycle costs that would be formulated through a general generic model based on the concept of life cycle cost analysis is observed during the research. The scope of the life cycle cost estimation model in this paper is limited to pontoons and the anchor system of pontoons and vessels. The primary goal of using the model is to estimate and optimize life cycle costs, so that different construction options can be quantitatively compared within the same decision-making process. The paper uses machine learning methods in order to examine the interrelationships of the collected data. The research includes determining all direct and indirect costs of construction, operation, maintenance, and end-of-life costs, designing basic machine learning models, comparing them and selecting the most favorable model with optimal selection of the number of input variables and optimization of model parameters depending on computer and data available resources. The obtained model will enable an increase in the level of decision-making quality and will provide a basis for model development of in the direction of quantitative comparison for different construction options.

KEYWORDS: Life cycle costs, pontoon and pontoon and vessel anchoring system life cycle cost estimation models, marina management, machine learning

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	XII
POPIS TABLICA	XIV
POPIS KRATICA	XV
1. UVOD	1
1.1. Predmet istraživanja	1
1.2. Ciljevi i hipoteze istraživanja	6
1.3. Razvoj i metodološke postavke istraživanja	8
1.4. Struktura disertacije.....	9
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I TEORIJSKE POSTAVKE MODELA.....	12
2.1. Gospodarenje građevinama.....	15
2.2. Troškovi životnog ciklusa građevine.....	22
2.3. Postojeći modeli procjene troškova životnog ciklusa.....	36
2.3.1. Teorijske postavke izračuna troškova životnog ciklusa.....	38
2.3.2. Diskontiranje troškova	43
2.3.3. Neizvjesnost i odabir ulaznih parametara modela.....	49
2.3.4. Sažeti prikaz postojećih modela	54
3. PONTONI I SIDRENI SUSTAV MARINE	62
3.1. Projektiranje marine	62
3.2. Pontoni i sidreni sustav marine.....	66
3.3. Pontonski valobrani.....	71
3.4. Uporaba i održavanje pontona	72
4. MODELIRANJE PROCJENE TROŠKOVA UPORABE I TROŠKOVA ŽIVOTNOG CIKLUSA	76
4.1. Strukturna raščlamba troškova	76
4.2. Prikupljanje i obrada podataka	79
4.3. Odaziv na anketu i prikupljeni podaci	83

4.4.	Statistička obrada podataka	90
4.4.1.	Odabir statističke metode i varijabli modela	90
4.5.	Uspostava osnovnih modela	101
5.	RAZVOJ I VALIDACIJA MODELA PROCJENE TROŠKOVA	105
5.1.	Razvoj modela procjene troškova uporabe pomoću algoritma slučajne šume.....	106
5.2.	Validacija modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću RF algoritma....	112
5.3.	Razvoj modela procjene troškova uporabe pomoću algoritma neuronske mreže ..	113
5.4.	Validacija modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću NN algoritma...	117
5.5.	Prednosti i ograničenja korištenja modela procjene troškova uporabe	118
5.6.	Razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pomoću algoritma potpornih vektora.....	119
5.7.	Validacija modela procjene troškova životnog ciklusa dobivenog pomoću SVM algoritma.....	123
5.8.	Razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pomoću algoritma podizanja gradijenta.....	124
5.9.	Validacija modela procjene troškova životnog ciklusa dobivenog pomoću GB algoritma.....	127
5.10.	Prednosti i ograničenja korištenja modela procjene troškova životnog ciklusa.....	128
5.11.	Sažeti prikaz rezultata i odabir modela	130
5.11.1.	Model procjene troškova uporabe.....	132
5.11.2.	Model procjene životnog ciklusa.....	133
6.	ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNJA ISTRAŽIVANJA	135
6.1.	Smjernice za daljnja istraživanja.....	137
	POPIS LITERATURE	139
	PRILOG 1	156
	PRILOG 2	157
	PRILOG 3	158

POPIS SLIKA

Slika 1. Odnos životnih troškova i vremena implementacije (oblikovao autor prema Flanagan i dr. (1989.)).....	21
Slika 2. Struktura troškova životnog ciklusa (Krstić i Marenjak, 2012.).....	25
Slika 3. Strukturna raščlamba troškova građevine (Krstić, 2011.).....	28
Slika 4. Začarani krug implementacije modela za izračun troškova građevine (oblikovao autor prema Kishk i dr. (2003.)).....	30
Slika 5. Kriteriji koji diktiraju uporabu metode troškova životnog ciklusa (oblikovao autor prema Olubodun i dr. (2010.))	32
Slika 6. Plutajući vezovi (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.)	65
Slika 7. Ponton – finger	66
Slika 8. Primjer postavljene infrastrukture u pontonu (STYRO, 2020.)	68
Slika 9. Ponton s plastičnim uzgonskim elementom (INGEMAR S.r.l., 2020.)	69
Slika 10. Primjer hodne površine na pontonu: a) drvena hodna površina, b) beton	70
Slika 11. Primjer zamjene oštećenog betonskog uzgonskog elementa i čeličnog okvira.....	73
Slika 12. Pregled spoja pontona sa sidrenim sustavom: a) pregled ispod pontona iznad razine mora, b) podvodni pregled pontona.....	74
Slika 13. Proces razvoja modela izračuna troškova (oblikovao autor prema radu (Hui i Mohammed, 2015.)).....	78
Slika 14. Prikaz troškovnih elemenata (oblikovao autor prema radu (Kishk i dr., 2005.)).....	79
Slika 15. Odnos udjela marina RH s plutajućim i fiksnim gatovima.....	80
Slika 16. Odaziv na anketu marina s pontonima u RH.....	83
Slika 17. Struktura vrijednosti dostavljenih podataka.....	83
Slika 18. Struktura podataka prema broju godina za koji su dostavljeni potpuni podaci	84
Slika 19. Prikaz udjela pojedinih skupina troškova u prosječnim nominalnim troškovima životnog ciklusa	90
Slika 20. Prikaz kumulativnih troškova uporabe pontona i sidrenog sustava za razdoblje od 2008. do 2018.....	91
Slika 21. Prikaz kumulativnih troškova životnog ciklusa za razdoblje od 2008. do 2018.	92
Slika 22. Korelacija neovisnih varijabli modela s troškovima uporabe.....	94
Slika 23. Korelacija neovisnih varijabli modela s troškovima životnog ciklusa	95

Slika 24. Grafički prikaz dijela odnosa varijabli modela procjene troškova uporabe	98
Slika 25. Grafički prikaz odnosa varijabli modela procjene troškova životnog ciklusa	99
Slika 26. Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova uporabe	103
Slika 27. Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova životnog ciklusa.....	104
Slika 28. Metodologija razvoja modela (preoblikovao autor prema Miranda i dr., 2019.)	106
Slika 29. Struktura algoritma slučajne šume (oblikovao autor prema (Chakure, 2019.)).....	107
Slika 30. Prikaz k -kratne unakrsne validacije (oblikovao autor prema (Pedregosa i dr., 2011.))	109
Slika 31. Prikaz značajnijih varijabli modela procjene troškova uporabe.....	110
Slika 32. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću RF algoritma.....	113
Slika 33. Primjer jednostavne neuronske mreže.....	114
Slika 34. Aktivacijske funkcije: (a) linearna, (b) ReLU, (c) sigmoidalna, (d) tanh (Matić, 2014.)	115
Slika 35. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću NN algoritma.....	118
Slika 36. Nelinerna regresija potpornih vektora	122
Slika 37. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova životnog ciklusa dobivenog pomoću SVM algoritma.....	124
Slika 38. Prikaz značajnih varijabli modela procjene troškova životnog ciklusa.....	127
Slika 39. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću GB algoritma	128

POPIS TABLICA

Tablica 1 Prednosti i nedostaci evaluacijskih metoda za izračun troškova (oblikovao autor prema Levander i dr. (2017.))	40
Tablica 2 Weitzmanova klizna skala diskontnih stopa (Keoleian i dr., 2005.)	45
Tablica 3 Osnovne referentne i diskontne stope u RH	46
Tablica 4 Marine s plutajućim gatovima u Republici Hrvatskoj	82
Tablica 5 Određivanje vrijednosti klimatološko-geografskih parametara	86
Tablica 6 Popis mogućih neovisnih varijabli modela procjene troškova životnog ciklusa	87
Tablica 7 Diskontirani prosječni godišnji i diskontirani ukupni troškovi životnog ciklusa	88
Tablica 8 Baza podataka neovisnih i ovisnih varijabli	89
Tablica 9 Popis odabranih varijabli za razvoj modela procjene troškova	101
Tablica 10 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE)	111
Tablica 11 Parametri za optimizaciju RF modela	111
Tablica 12 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) RF modela	112
Tablica 13 Parametri za optimizaciju RF modela	116
Tablica 14 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) NN modela	117
Tablica 15 Parametri za optimizaciju SVM modela	123
Tablica 16 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) SVM modela	123
Tablica 17 Parametri za optimizaciju GB modela	126
Tablica 18 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) GB modela	128
Tablica 19 Popis odabranih varijabli za razvoj modela procjene troškova	131
Tablica 20 Usporedba dobivenih rezultata svih validiranih modela	131

POPIS KRATICA

BRE – Building Research Establishment (hrv. Institut za istraživanje građevina)

CBS – Cost Breakdown Structure (hrv. Strukturna raščlamba troškova)

CI – Confidence Index (hrv. Indeks pouzdanosti)

CMF – Cost Model Factor (hrv. Faktor troškovnog modela)

CPM – Capital Project Management (hrv. Upravljanje kapitalnim projektima)

DPP – Discount Payback Method (hrv. Diskontirano razdoblje povrata investicije)

EDA – Exploratory Data Analysis (hrv. Istraživačka analiza podataka)

EUAC – Equivalent Uniform Annual Cost analysis (hrv. Ekvivalentni jedinstveni godišnji trošak)

GB – Gradient Boosting (hrv. Podizanje gradijenta)

IFMA – International Facility Management Association (hrv. Međunarodna udruga gospodarenja građevinama)

IRR – internal Rate of Return (hrv. Unutarnja stopa povrata)

KNN – K-Nearest Neighbors (hrv. K-najbliži susjedi)

LCC – Life Cycle Costing (hrv. Troškovi životnog ciklusa)

LR – Linear Regression (hrv. Linearna regresija)

MAE – Mean Absolute Error (hrv. Srednja apsolutna pogreška)

NATO – North Atlantic Treaty Organization (hrv. Organizacija Sjevernoatlantskog sporazuma)

NN – Neural Network (hrv. Neuronska mreža)

NPV – Net Present Value (hrv. Neto sadašnja vrijednost)

NS – Net Saving (hrv. Neto ušteda)

PV – Present Value (hrv. Sadašnja vrijednost)

RBF – Radial Basis Function (hrv. Radijalna bazna funkcija)

RF – Random Forest (hrv. Slučajne šume)

RSL – Remaining Service Life (hrv. Ostatak životnog vijeka uporabe)

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry (hrv. Društvo za toksikologiju i kemiju okoliša)

SVM – Support Vector Machine (hrv. Potporni vektori)

WLC – Whole Life Cycle Costing (hrv. Cjeloživotni troškovi)

WLCA – Whole Life Cycle Assesment (hrv. Procjena cjeloživotnih troškova)

1. UVOD

1.1. Predmet istraživanja

U posljednjim desetljećima sazrijeva interes o značaju izgrađenog okoliša u ostvarivanju održivog razvoja. Kako se načelo održivosti sve više uključuje u poslovne strategije, mijenjaju se ključne organizacijske strategije i istražuje se povezanost održivog razvoja s troškovima životnog ciklusa izgrađene i druge imovine. Sve veći značaj održivosti i njenih pokretača, utječu i na sudionike u procesu održivog razvoja s različitim vrijednostima. Na globalnoj razini pokrenuta je rasprava o smjernicama prema procjeni održivosti i poboljšanju izgrađenog okoliša. Svjedoci smo sazrijevanja brige i interesa za održivu pametnu gradnju, čiji se sustav sastoji od sudionika u gradnji, građevnih elemenata te procesa gradnje, održavanja i upravljanja i njihovih međuodnosa. Takav trend predstavlja glavni pokretač povećanja uporabe metode izračuna troškova životnog ciklusa. Dok su održive građevine napredovale u mnogim segmentima, uključujući projektiranje i izgradnju, ipak je financijska održivost ta koja određuje u kojoj se mjeri građevini dopušteno biti održiva. Važnost metode troškova životnog ciklusa ogleda se u porabi za pravovremenim i preciznim informacijama o troškovima projektiranja, gradnje i uporabe, kako bi se unutar procesa upravljanja moglo pozitivno utjecati na financijsko planiranje i postupak odlučivanja o budućim investicijama i troškovima održavanja i uporabe. Zbog odluka koje se donose tijekom faze projektiranja građevine, potrebno je razviti prikladan model procjene troškova životnog ciklusa građevine u najranijoj fazi projekta.

Istraživanjem problematike u upravljanju marinama uočen je niz nedostataka. Ponajprije, primijećeni su nedostaci prilikom upravljanja građevinama i unutar procesa donošenja odluka. Problematika upravljanja djelomično potječe od manjka provjerenih podataka potrebnih za odlučivanje, njihovog prikupljanja, načina obrade i pohranjivanja u baze podataka, a djelomično zbog različitih ciljeva i proturječnih općih i pojedinačnih interesa sudionika u procesu upravljanja. Nadalje, uočeni su iznimni nedostaci unutar sustava odlučivanja. Donose se subjektivne odluke o održavanju i upravljanju marinama temeljene na osobnim i iskustvenim prosudbama upravitelja i voditelja marina, bez propitivanja valjanosti odluka za održavanje građevina. Razne odluke vezane uz gradnju marine donose se bez promišljanja o interakciji

različitih čimbenika, poput estetskog oblikovanja priobalnog prostora, intervencija u moru i podmorju, izgradnji te uspostavljanju prioriteta gradnje glede zaštite okoliša. Također je primjetna odsutnost propisa, standarda, normi ili pravila kojima bi se regulirao proces održavanja marina, posebice dijela marina koji se nalazi u ekološki osjetljivom morskom okolišu. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti ekološkim čimbenicima i interesima očuvanja okoliša, što dovodi do inovativnih tehnoloških pristupa potrebnih za rješavanje problematike strožeg zakonodavstva o zaštiti okoliša.

Značajan je svakako nedostatak temelja praktičnog izračuna troškova životnog ciklusa povezanog s određivanjem strukture troškova životnog ciklusa marine, kao i metoda i alata za procjenu tih troškova. Razvoj, proširenje, rekonstrukcija i upravljanje marinama prema današnjim visokim standardima složena je materija koja zahtijeva širok raspon ulaznih parametara vezanih uz graditeljstvo i zaštitu okoliša, s puno promišljanja i planiranja potrebnih za uspješan ishod. Poznavanje strukture troškova životnog ciklusa marine važan je dio procesa upravljanja marinama, koji bi se trebao zasnivati na znanstveno istraženim i praktično potvrđenim metodama i modelima, posebice u trenutku osmišljavanja i odabira načina gradnje marine.

Pri provedbi istraživanja za potrebe izrade doktorske disertacije, važnu ulogu u identifikaciji problema imali su znanstveni članci, razgovori s osobama na terenu zaduženima za upravljanje i održavanje marina te dionicima procesa gradnje marina i stručnjacima tj. ekspertima za pojedina područja vezana uz projektiranje i gradnju marina (projektanti, izvođači radova, ekonomisti, neposredni izvršitelji održavanja marina). Analizom podataka iz literature i sagledavanjem problema u praksi, uočena je potreba za definiranjem troškova životnog ciklusa marine koji bi se formulirali kroz opći generički model, temeljen na konceptu analize troškova životnog ciklusa. Napretkom projekta od faze koncipiranja prema definiranju i izvođenju projekta, moguće je detaljnije razvijati model, a njegova praktična primjena bila bi moguća tijekom procesa upravljanja marinama i donošenja odluka o prikladnoj i troškovno učinkovitijoj opciji. Primarni cilj korištenja modela je procjena i optimizacija troškova životnog ciklusa

pontona i sidrenog sustava pontona i plovila, kako bi se različite mogućnosti gradnje mogle kvantitativno usporediti unutar istog procesa donošenja odluka.

Razvoj tehnika modeliranja u području obrade podataka pridonio je unaprjeđenju sustava za podršku upravljanju građevinama, posebice kao potpora donošenju odluka. Razne tehnike modeliranja stvarnih problema temelje se na funkcionalnim karakteristikama kojima se matematički opisuju stvarne varijable problema i odnose među varijablama, a u cilju rješavanja proučavanog problema. U ovome radu koristit će se različite metode strojnog učenja, kako bi se mogli ispitati međuodnosi prikupljenih podataka te osmisliti model za podršku upravljanju marinama koji daje najbolje rezultate, uspoređujući srednju apsolutnu pogrešku. Na temelju prethodno iznesenog, definiran je predmet istraživanja koji je fokusiran na podršku o odlučivanju u upravljanju i gospodarenju marinama, iz kojega slijedi definiranje zadatka istraživanja. Zadatak istraživanja je utvrditi sve izravne i neizravne troškove projektiranja, gradnje i upravljanja marinom u dijelu pontonskog sustava i sidrenog sustava plovila (uporaba, održavanje, podrška i zamjena) tijekom čitavog životnog vijeka. Tako dobiveni podaci obuhvaćaju sve čimbenike koji utječu na donošenje odluke o budućim investicijama i održavanju postojećeg sustava, i mogu se koristiti u svim fazama odlučivanja tijekom procesa projektiranja marine. Obuhvat modela procjene troškova životnog ciklusa u ovome radu ograničen je na pontone i sidreni sustav pontona i plovila. Oblikovat će se osnovni modeli strojnog učenja, koji će se usporediti te će se na temelju dobivenih rezultata procijeniti najpovoljniji model s optimalnim odabirom broja ulaznih varijabli i optimizacijom parametara modela u ovisnosti o računalno i podatkovno dostupnim resursima. Prije oblikovanja modela strojnog učenja izradit će se istraživačka analiza prikupljenih podataka. Navedeni modeli omogućit će povećanje razine kvalitete odlučivanja, te dati osnovu za razvoj modela u smjeru kvantitativne usporedbe različitih mogućnosti gradnje. Oblikovanje i validacija modela izvršit će se na dostupnim podacima prikupljenima u marinama na području Republike Hrvatske za razdoblje od 2008. do 2018. godine, za troškove životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine.

Jedno od ograničenja korištenja modela procjene troškova životnog ciklusa u praksi je relativni nedostatak interesa za korištenje modela i promišljanje o pozitivnom utjecaju modela na razvoj građevinarstva (Cuéllar-Franca i Azapagic, 2014.). Opsežnim pregledom literature može se zaključiti kako postoji nekoliko modela izračuna troškova životnog ciklusa građevina, međutim nijedan od modela ne analizira povezanost karakteristika pontona i sidrenog sustava marina koji se definiraju prilikom projektiranja marine (primjerice duljinu i broj gatova ili broj vezova po duljini plovila) i troškova životnog ciklusa. U Hrvatskoj nikada nije provedeno istraživanje navedene problematike te ne postoje baze podataka o troškovima marina i njenih konstruktivnih dijelova. Tehnički nedostatak također predstavlja i nerazrađena zakonska regulativa koja bi propisala načine i vremenske intervale održavanja marina. Trenutno je na snazi Pomorski zakonik (NN 181/04, 76/07, 146/08, 61/11, 56/13, 26/15, 17/19) kojim se smanjuje regulatorna obveza održavanja pontonskih gatova. Izmjenama i dopunama Pomorskog zakonika donesenima 13. veljače 2019. godine ukinula se obveza upisivanja pontonskih gatova u upisnik brodova, čime se negativno utječe na kontrolu i održavanje pontona prema do tada određenim pravilima Hrvatskog registra brodova. S obzirom da marine pripadaju osjetljivom dijelu ekološkog raspona, dok istodobno imaju veliko značenje s gledišta ekonomskog razvoja i razvoja turizma, oblikovanjem modela procjene troškova životnog ciklusa i održavanja marina ostvario bi se znanstveni i gospodarski doprinos. Rezultati ovoga istraživanja znanstveno su utemeljeni, a praktično su primjenjivi i korisni u budućnosti, jer se radi o modelu otvorenog tipa koji je moguće dopunjavati s podacima i dodatnim kriterijima i ciljevima analize.

Primjena modela procjene troškova životnog ciklusa građevine za investitora predstavlja pitanje od strateške važnosti. Služi kao pomoć pri odlučivanju i odabiru projektnih varijanti koje utječu na ostvarivanje dugoročne učinkovitosti u strateškom upravljanju troškovima. Trenutno se u hrvatskoj zakonskoj regulativi metoda izračuna troškova životnog ciklusa spominje kao mogućnost (Zakon o javnoj nabavi, NN 120/16) i nema pravilnika, propisa niti smjernica za obvezu njenog korištenja, posebice u dijelu javne nabave. Važeća norma HRN ISO 15686-5:2009 Građevine - Planiranje uporabnog vijeka - 5. dio: Trošak životnog ciklusa daje smjernice za planiranje vijeka uporabe, navodi definiciju i upute za izračun troškova životnog ciklusa

građevine. Kao što navodi i Organizacija Sjevernoatlantskog sporazuma (engl. *North Atlantic Treaty Organization* – NATO), u svojim smjernicama za cjeloživotne troškove (2009.), postoji svijest o temi procjene troškova životnog ciklusa, međutim još nisu prepoznata nikakva stvarna rješenja.

Boussabaine i Kirkham (2004.) tvrde da je dostignuće istraživanja analize troškova životnog ciklusa i stručnosti unutar istraživanja i uporabe još uvijek u početnom stadiju, s izraženom razlikom između teorije i prakse. Stanje u pogledu postojećih modela za izračun troškova životnog ciklusa sublimirali su razni autori u svojim radovima (Krstić i Marenjak, 2012.; Sun i Carmichael, 2017.). Analizom provedenih metoda izračuna troškova životnog ciklusa i postojećih modela otkrili su da troškovi održavanja i uporabe predstavljaju značajan dio troškova životnog ciklusa građevine. Problem pri korištenju dosadašnjih dostupnih modela na upravljanje troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava plovila predstavlja činjenica da su postojeći modeli bazirani na drugim vrstama građevina te nije uzeta u obzir specifičnost marina kao građevina, što ukazuje na različit značaj pojedinih troškovnih elemenata unutar strukture ukupnih troškova životnog ciklusa. Pojedini modeli ne zasnivaju pretpostavke na povijesnim zapisima o troškovima, već na teorijskim postavkama. Modeli koji su utemeljeni na povijesnim podacima o troškovima uglavnom se nisu razvijali na temelju dostupne strukture troškova, već na temelju unaprijed definirane strukture troškova. Varijable modela su različito definirane i svaki model zahtijeva jedinstveni set podataka. Dodatni problem predstavlja pohrana i dostupnost prikupljenih podataka, jer u Republici Hrvatskoj do sada još nije provedeno istraživanje navedene problematike, te ne postoji baza podataka koja sadrži troškove životnog ciklusa koja bi se mogla koristiti za buduća istraživanja u svrhu ažuriranja ili poboljšanja postojećih modela.

Pregledom literature utvrđeno je da ne postoji jednostavan i jedinstveni model za predviđanje troškova održavanja i uporabnih troškova koji bi se temeljili na klimatološkim i geografskim karakteristikama lokacije na kojoj su pontonski gatovi postavljeni, te na parametrima koji se određuju prilikom projektiranja marine. Posljedica navedenog je nesustavan pristup planiranju, gradnji, upravljanju i održavanju marina. Bitno je napomenuti da se razvojem modela za

procjenu troškova životnog ciklusa u marinama pozitivno utječe na razvoj turističke grane gospodarstva Republike Hrvatske, s obzirom da dvadeset i dvjema (22) marinama (od ukupno sedamdeset (70) marina) upravlja dioničko društvo u većinskom državnom vlasništvu. Pregledom dostupne literature može se doći do zaključka da je potrebno razviti modele predviđanja troškova koje je nemoguće predvidjeti bez uspostavljanja prikladne baze podataka s podacima i informacijama koje mogu biti statistički obrađene. Iako je velik broj modela troškova životnog ciklusa bio razvijen tijekom godina, niti jedan model nije prihvaćen kao standardni model. Standardni model nije utvrđen iz više razloga, uključujući mnogo različitih sustava prikupljanja podataka o troškovima te mnogo različitih objekata za koje su modeli razvijani, a koji se razlikuju po vrsti gradnje, opreme, uređaja ili sustava (Krstić i Marenjak, 2012.; Sun i Carmichael, 2017.).

Pregled literature obuhvatio je postojeće primjene teorijskih postavki upravljanja troškovima životnog ciklusa te je sagledan dosadašnji razvoj modela troškova životnog ciklusa i njihova primjena u graditeljstvu. Pregled literature sadrži i najnovija istraživanja u području projektiranja marina, pontona i sidrenog sustava pontona i plovila, kako bi se mogli jasno i detaljno strukturirati troškovi životnog ciklusa pontonskih sustava u marinama.

1.2. Ciljevi i hipoteze istraživanja

Svrha istraživanja u okviru ove doktorske disertacije je istražiti mogućnost upravljanja troškovima životnog ciklusa u marinama. Istraživanje će se usredotočiti na morski i podmorski dio marine – pontone i sidreni sustav plovila. U radu će se analizirati dostupni podaci o troškovima životnog ciklusa navedenih dijelova građevine, uključujući troškove održavanja i uporabe te troškove uklanjanja. U tu svrhu obradit će se postojeći sustavi pontonskih elemenata i njihovo održavanje te će se istražiti postojeće smjernice za projektiranje marina. Uz navedene parametre sagledat će se i pojedini klimatološko-geografski uvjeti poput morskih mijena, temperature mora te vjetera, a koji utječu na održavanje ponton. Na osnovi promatranih parametara i analize podataka dati će se prijedlog modela za izračun troškova životnog ciklusa pontonskih gatova u marinama.

Istraživanje ima za osnovni cilj formulaciju modela pomoću kojega je moguće upravljati troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine radi kvalitetnijeg upravljanja marinama, a koju će dati donositelji odluka u upravljanju marinama (direktori, voditelji i ostali dionici u procesu donošenja odluka – vlasnici, nositelji i davatelji koncesije, mornari, Hrvatski registar brodova i lučke uprave). Uz navedeni glavni cilj, pomoćni ciljevi istraživanja su:

- stjecanje uvida u mogućnost prikupljanja povijesnih podataka o održavanju i uporabnim troškovima pontonskih gatova,
- dobivanje podataka o stvarnim troškovima životnog ciklusa gatova,
- definiranje baze podataka o troškovima životnog ciklusa pontonskih gatova,
- određivanje i identificiranje udjela troškova u ukupnim troškovima životnog ciklusa pontonskih gatova u marinama na području Republike Hrvatske, i
- definiranje statistički značajnih neovisnih varijabli potrebnih za uspostavu matematičkog modela koji bi se mogao koristiti za predviđanje troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine.

Slijedom navedenog može se postaviti polazna hipoteza koja glasi:

Primjenom unaprijed utemeljene strukture troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine, pomoću matematičkih izraza kojima se opisuje međusobna ovisnost komponenti troškova moguće je upravljati troškovima i unaprijediti proces donošenja odluka u upravljanju i održavanju marina.

Problemi prilikom izbora sustava pontonskih gatova u marinama odnosno upravljanja održavanjem i uporabom marina, posljedica su brojnih nestrukturiranih aktivnosti i iskustvenog pristupa prisutnih u upravljanju navedenim procesima. Potrebno je prema postojećoj strukturi modela razvijenih za upravljanje troškovima životnog ciklusa građevina razviti modele prikladne za uporabu na pontonima i sidrenom sustavu marine kao podršku procesima upravljanja i održavanja marina, te se može postaviti i pomoćna hipoteza:

Izradom i primjenom matematičkog modela koji se može koristiti za predviđanje troškova životnog ciklusa na upravljanje pontonima i sidrenim sustavom marine može se utvrditi utjecaj pojedinih parametara na ukupne troškove životnog ciklusa pontona te unaprijediti kvaliteta procesa donošenja odluka vezanih uz proces održavanja marina.

1.3. Razvoj i metodološke postavke istraživanja

Istraživanje za potrebe izrade disertacije usmjereno je na marine u kojima su izvedeni pontoni – plutajući gatovi sa svojim sidrenim sustavom, za čiju uporabu i održavanje postoji vrlo malo podataka o troškovima i načinu planiranja ukupnih troškova životnog ciklusa. U istraživanju u okviru ovoga rada primijenit će se analiza, selekcija i provjera raspoloživih izvora informacija, koja prethodi istraživanju na terenu. Istraživanje će obuhvatiti analizu postojeće znanstvene literature, smjernica i standarda za projektiranje marina kao i studija izvodljivosti i elaborata vezanih uz tematiku projektiranja i gradnje pontona i marina. Istraživanja na terenu koristit će anketu i slobodni intervju kao formu istraživanja i prikupljanja podataka o troškovima, kao i sve neformalne oblike razgovora s ekspertima i osobama čiji je svakodnevni posao usmjeren na područje upravljanja marinama, gradnjom i postavljanjem pontona ili njihovim certificiranjem. Prilikom izrade teorijskog dijela rada koristit će se sljedeće znanstvene metode: induktivna i deduktivna metoda, te metoda analize i sinteze te metoda slobodnog intervjua. Za pregled literature i stvaranje novih teorija te hipoteza istraživanja koristit će se deduktivna metoda, kao i metoda analize. Za izradu teorijskog modela troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava koristit će se metode indukcije i sinteze te metoda slobodnog intervjua. Uz navedene metode koristit će se i metoda usporedbe i opisna metoda, te statistička metoda za analizu prikupljenih podataka.

U izradi empirijskog dijela istraživanja koristit će se metode modeliranja, simulacije i komparacije. Tijekom oblikovanja modela procjene troškova koristit će se tehnika modeliranja strojnim učenjem unutar programskog jezika Python te će se izraditi niz modela pomoću različitih algoritama za procjenu troškova uporabe i procjenu troškova životnog ciklusa. Odabrat će se najpovoljniji model koji će se potom prilagoditi problematici troškova uporabe i troškova

životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava u marinama. Model će se oblikovati optimizacijom parametara te će se testirati s određenim brojem ulaznih varijabli. Nakon testiranja metodom simulacije metodom komparacije usporedit će se dobivene i stvarne vrijednosti te će se postavljani model validirati. Uz modele koji daju najmanju srednju apsolutnu pogrešku, napraviti će se komparativna analiza i prikazati će se rezultati još dvaju modela strojnog učenja napravljeni pomoću različitih algoritma, kako bi se prikazala usporedba modela i prikazala najučinkovitija metoda modeliranja. Validacija modela izraditi će se na temelju prikupljenih podataka marina Republike Hrvatske. Pomoću prikupljenih podataka analizirati će se primjenjivost modela na upravljanje marinama. Tehnika modeliranja strojnim učenjem odabrana je radi simuliranja pojava i procesa u stvarnosti. Tijekom pisanja doktorske disertacije navedene metode će se najčešće koristiti u kombinaciji jedna s drugom ili više njih.

1.4. Struktura disertacije

Struktura doktorske disertacije oblikovana je prema uputama i pravilima Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku. Svi stručni pojmovi prevedeni su na hrvatski jezik, a uz pojedine pojmove ostavilo se izvorno nazivlje na engleskom jeziku, radi jasnoće i povezivanja terminologije s literaturom. Rad se sastoji od predgovora, sažetka na hrvatskom i engleskom jeziku, sadržaja, popisa slika, popisa tablica, popisa kratica i simbola, glavnog teksta rada te popisa literature i priloga.

Glavni tekst rada podijeljen je u šest poglavlja. Prvo poglavlje je uvodno poglavlje s opisom predmeta istraživanja, ciljevima i hipotezom rada te razvojem i metodološkim postavkama istraživanja. U drugom poglavlju prikazuje se pregled dosadašnjih istraživanja na temu gospodarenja građevinama, troškova životnog ciklusa te se pregledom postojećih modela procjene troškova životnog ciklusa postavljaju teorijske postavke modela.

U trećem poglavlju daje se uvid u planiranje i projektiranje marina te tehničku dokumentaciju i projektne parametre koji su potrebni za projektiranje. Ukratko se definiralo što je marina i što su pontoni u marini. Opisana je procedura izdavanja tehničke dokumentacije za odobrenje

pontona, definirala se tehnologija izrade pontona i prikazani su primjeri pregleda i zamjene dijelova pontona iz struke.

Četvrto poglavlje odnosi se na prikupljanje i obradu podataka potrebnih za razvoj modela procjene troškova uporabe te modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine. U prvom dijelu poglavlja definirala se struktura troškova, na temelju koje je izrađen upitnik za prikupljanje podataka o troškovima u marinama. Drugi dio poglavlja prikazuje odaziv marina na anketu i analizu prikupljenih podataka. U trećem dijelu poglavlja prikazana je osnovna statistička obrada podataka. Napravljeni su osnovni modeli na temelju čije usporedbe je odabran najpovoljniji model za procjenu troškova uporabe, te najpovoljniji model za procjenu troškova životnog ciklusa s obzirom na dobivene rezultate srednje apsolutne pogreške. Metode strojnog učenja za regresiju prikladan su odabir za traženje ovisnosti između podataka koji nisu u isključivo linearnoj vezi. Prethodno odabiru statističkih metoda, definirane su varijable modela i statistički značajne varijable.

Peto poglavlje prikazuje razvoj modela, optimizaciju parametara modela te njegovu validaciju. U prvome dijelu poglavlja prikazan je razvoj najpovoljnijih modela za procjenu troškova. Kako bi se procijenili troškovi uporabe korišten je algoritam slučajne šume (engl. *Random Forest* – RF). Za procjenu troškova životnog ciklusa korišten je algoritam potpornih vektora (engl. *Support Vector Machine* – SVM). Ukratko su definirani odabrani algoritmi strojnog učenja, prikazana su dosadašnja istraživanja i definiran je model. Uz modele koji daju najmanju srednju apsolutnu pogrešku, napravljena je analiza i prikazani su rezultati još dvaju modela strojnog učenja napravljeni pomoću algoritma neuronske mreže (engl. *Neural Network* – NN) te algoritma podizanja gradijenta (engl. *Gradient Boosting* – GB), kako bi se dala usporedba dobivenih rezultata modela i prikazala najučinkovitija metoda modeliranja. U drugom dijelu poglavlja prikazana je validacija predloženih modela na primjeru prikupljenih podataka marina Republike Hrvatske. Pomoću prikupljenih podataka ustanovljena je primjenjivost modela na učinkovitije i kvalitetnije upravljanje marinama.

U šestom poglavlju dana su zaključna razmatranja rada, znanstveni doprinos istraživanja te smjernice za daljnja istraživanja. Predstavljena struktura disertacije ima za cilj prikazati istraživanje i ostvareni doprinos koji se očituje u znanstveno postavljenim novim spoznajama o podršci sustavu upravljanja marinama kroz razvoj modela procjene troškova uporabe, te razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I TEORIJSKE POSTAVKE MODELA

Uloga i značaj izgrađenog okoliša u ostvarivanju održivog razvoja česte su teme rasprava i analiza. Koncept održivog razvoja, kao i povezanih načela i pravila upravljanja, sve više priznaju brojne tvrtke, organizacije i institucije diljem svijeta. Percepcija održivosti kao pitanje dobronamjernosti i bez izravnog utjecanja na ključne organizacijske poslovne strategije, promijenila se tijekom godina otkako organizacije aktivno uključuju načela održivosti u svoje osnovne poslovne strategije. Prema Schmid (2001.) sve veći globalni naglasak na održivom razvoju povezan je s troškovima životnog ciklusa izgrađene imovine i njenih dijelova. Takav trend predstavlja glavni pokretač povećanja uporabe metode izračuna troškova životnog ciklusa.

U zajedničkom je interesu državnih tijela, kao i svih koji rade na pomorskom dobru ili od njega žive, urediti uvjete poslovanja na pomorskom dobru na dulje razdoblje, te na taj način stvoriti izvjesne i predvidive uvjete poslovanja koji su preduvjet za unapređenje sadašnjeg poslovanja i za nove investicije. Kao i na svim drugim tržištima, trendovi na tržištu nautičkog turizma se mijenjaju, gosti su sve zahtjevniji, iskusniji i traže vrijednost za novac (Peručić, 2016.). Sve veće značenje održivosti i njezin širi izbor pitanja održivosti i njenih pokretača utječu i na sudionike s različitim vrijednostima, što je pokrenulo raspravu o odgovarajućim pitanjima i pokretačima koji daju smjernice prema procjeni održivosti i poboljšanju u izgrađenom okolišu. Iako je na prvi pogled široki raspon pitanja koja se mogu pojaviti demotivirajući, cilj je smanjiti mnoštvo pitanja i pokretača na ograničeni jednostavni skup (Elmualim i dr., 2012.). U posljednjim desetljećima svjedoci smo sazrijevanja brige i interesa za osobine i značajke gradnje, što se sve više dokazuje u projektiranju.

Održiva pametna građevina može se shvatiti kao složeni sustav od triju osnovnih međusobno povezanih podsustava (Alwaer i Clements-Croome, 2010.):

- Osobe (vlasnici, privremeni i trajni korisnici, ulagatelji, upravitelji),
- Proizvodi (materijali, struktura, građevina, oprema, automatizacija i kontrola, usluge), i
- Procesi (održavanje, vrednovanje učinkovitosti, gospodarenje građevinama) i međuodnos ovih pitanja.

Održive građevine napredovale su u mnogim segmentima, uključujući projektiranje i izgradnju, međutim financijska održivost građevine određuje u kojoj je mjeri ekološka održivost građevine prihvatljiva. Održivost u izgrađenom okolišu nije strogo ograničena na potrošnju energije. Ostali čimbenici imaju jednako važnu ulogu. Jedan od tih čimbenika je trajnost građevinskog materijala, odnosno njegov utjecaj na okoliš. Drugi važan čimbenik je utjecaj održavanja građevinskih materijala na karakteristike građevine (Haapio i Viitamiemi, 2008.).

Provedba upravljanja građevinama u organizaciji nije relevantna i prikladna samo kod poslovnih organizacija, već je vrlo važna za sve sektore neovisno jesu li oni privatni ili javni. U skladu s time, upravljanje građevinama je bitna praksa u svim sektorima; igra važnu ulogu posebice u javnom sektoru u razvoju društveno-gospodarskog napretka zemlje (Wan-Hamdan i dr., 2011.). Proteklih desetljeća priznata je važnost utjecaja troškova životnog ciklusa na investiciju, kao i ukupnih cjeloživotnih troškova te potreba za pravovremenim i preciznim informacijama o troškovima projektiranja, gradnje i uporabe, kako bi se unutar procesa donošenja odluka moglo pozitivno utjecati na financijsko planiranje i postupak odlučivanja. Zbog odluka koje se donose tijekom faze projektiranja građevine, a imaju utjecaj na kapitalne troškove stanovanja, treba inzistirati na primjeni modela životnog ciklusa građevine u najranijoj fazi projekta. Iako se proračun za upravljanje građevinama može doimati kao mala stavka u odnosu na ukupni proračun, vrijedno je razmatrati ga s obzirom na utjecaj koji ima na organizaciju.

Istraživanjem problematike u upravljanju marinama uočen je niz nedostataka. Posebno postoji nedostatak temelja praktičnog izračuna troškova životnog ciklusa povezanog s određivanjem strukture troškova životnog ciklusa marine, kao i metode i alate za procjenu tih troškova.

Poznavanje strukture troškova životnog ciklusa marine i metoda izračuna tih troškova je važna, posebno u fazi koncipiranja i odabira načina gradnje marine.

Prema radu (Ross i Wickford, 1988.) marina se može definirati kao bilo koja građevina (javna ili privatna) s deset ili više morskih vezova i/ili suhih vezova s pristupom obali. Može uključivati i brodogradilište koje nudi usluge i popravke plovila, klub ili javni park. U najširem smislu, marina je bilo koja rekreativna građevina koja osigurava pristupne točke u i sa plovila.

Uređenje uvjeta poslovanja na pomorskom dobru na dulje razdoblje i stvaranje izvjesnih i predvidivih uvjeta poslovanja, preduvjet su za unapređenje sadašnjeg poslovanja. Navedeno se posebno odnosi na cjelokupni sektor nautičkog turizma Republike Hrvatske. Trendovi na tržištu se mijenjaju, i potrebno je opsežno planiranje i promišljanje o razvoju, proširenju, rekonstrukciji i upravljanju marinama kako bi se zadovoljili današnji visoki standardi. Morski i obalni predio jedan je od najagresivnijih okruženja za planiranje gradnje. Uspješan projekt ovisi o jasnom razumijevanju prevladavajućih uvjeta, priobalnih procesa i opterećenja i utjecaja iz okoline koje jedna konstrukcija mora izdržati. Agilnost i stručnost ključ su učinkovitog projektiranja morskih i obalnih građevina (COWI, 2016.).

Prilikom praćenja gradnje jedne od marina koja će kasnije u radu biti obrađena, uočeni su brojni problemi. Postoje brojni problemi selektiranja, prikupljanja, načina obrade i pohranjivanja podataka o upravljanju marinama i njenim troškovima. Odluke o gradnji marine donose se nesustavno, rijetko se razmatra interakcija estetskih, ekoloških, financijskih i funkcionalnih čimbenika i usklađivanje zahtjeva dionika u procesu upravljanja marinom zbog različitih pojedinačnih i općih interesa, pri čemu nastaje raskorak između nerealiziranih želja i ostvarivih mogućnosti. Istraživanjem dostupnih izvora (znanstvenih radova te terenskog izvida i razgovora s dionicima procesa u gradnji) uočeni su različiti nedostaci koji se javljaju u procesima odlučivanja, a ključni su za kvalitetno upravljanje. Nedostaci se ponajprije ogledaju u neorganiziranom i nesustavnom donošenju važnih odluka prilikom razmatranja investicije i projektiranja marine, bilo zbog nepoznavanja problematike ili nedostatka raspoloživih informacija. Nažalost, odluke se najčešće donose proizvoljno, bez potrebnih propitivanja

njihove valjanosti pri donošenju te bez konzultiranja relevantnih stručnjaka (Marović, 2013.). Odlučivanje u upravljanju, posebice građevinama unutar osjetljivih ekosustava kao što je marina, trebalo bi se temeljiti na znanstveno istraženim i praktično potvrđenim metodama i modelima određivanja troškova životnog ciklusa. Formulacijom općeg generičkog modela procjene troškova životnog ciklusa i njegovom praktičnom primjenom moguće je unaprijediti proces upravljanja marinama i donošenja odluka o prikladnoj i troškovno učinkovitijoj opciji.

2.1. Gospodarenje građevinama

Organizacije i institucije često ne prepoznaju važnost gospodarenja građevinama za njihovo poslovanje i uspjeh. Upravitelji građevinama u javnim organizacijama uz ostale probleme moraju se nositi i sa strožim proračunskim ograničenjima od onih u većini privatnih tvrtki, pa je stoga potrebno razviti alate za pomoć u donošenju odluka (Lavy, 2008.). Gospodarenje građevinama može pružiti okvir za ispitivanje mnogih odnosa između odluke i zadovoljstva krajnjeg korisnika imovinom, bilo u ekonomskim uvjetima ili uvjetima očuvanja okoliša. Također pruža okvir za procjenu zadovoljstva korisnika kroz promjene poslovnih i drugih okolnosti (Amaratunga i dr., 2000.). Tijekom posljednjih 10 do 15 godina gospodarenje građevinama i u privatnom i u javnom sektoru razvija se iz discipline povijesno usmjerene na pojedine građevine, u disciplinu usmjerenu na skup karakteristika portfelja građevina koje su u skladu s cjelokupnom misijom organizacije. Gospodarenje građevinama može se poistovjetiti s upravljanjem ekonomičnošću, prije nego kao metoda postizanja višedimenzionalnog poboljšanja poslovne konkurentnosti. Međutim, u gospodarenju građevinama ne razmatra se samo pružanje usluga na najučinkovitiji način, već pružanje usluga uz stalni razvoj okoline i industrije. Gospodarenje građevinama bavi se upravljanjem izgrađene imovine i uključuje kontrolu usluga potrebnih za uspješno poslovanje jedne organizacije. Uključuje isporuku pozitivnog radnog okruženja i optimalnog funkcionalnog prostora koji podržava poslovne procese i ljudske resurse, a ne pokriva isključivo fizičku opremu zgrade. Održivost je jedna od ključnih značajki koja utječe na projektiranje, izgradnju, uporabu i uklanjanje građevine. Dok su održive građevine napredovale u mnogim segmentima, uključujući i projektiranje i izgradnju, financijska održivost građevine određuje u kojoj je mjeri građevini dozvoljeno da bude održiva. Metodologija određivanja

troškova životnog ciklusa ključni je element u podupiranju poboljšanja održivosti izgrađenog okoliša, pružanjem osnove za procjenu i usporedbu svih troškova povezanih s građevinom, odnosno dijelom građevine s usporedivom osnovom.

Ovlast gospodarenja građevinama interpretira se kao upravljanje održavanjem, prostorom i smještajnim standardima, upravljanje projektima za novu gradnju i renovacije, opće upravljanje dijelovima građevina i upravljanje povezanim uslugama podrške. Cilj gospodarenja građevinama ne treba biti ograničen samo na smanjenje uporabnih troškova izgrađene građevine, već i kako se usredotočiti na poboljšanje učinkovitosti građevine. Učinkovito gospodarenje obuhvaća više aktivnosti u okviru različitih disciplina, kombinirajući resurse i od vitalne je važnosti za uspjeh bilo koje organizacije. Da bi ono bilo učinkovito, moraju se uzeti u obzir „tvrda“ pitanja kao što je financijska regulacija, ali i „meka“ pitanja kao što je upravljanje ljudima (Nik-Mat i dr., 2011.). Koordinacija složenih aktivnosti građevinskog projekta putem ugovora nudi nekim sudionicima mogućnost zarade na račun drugih, no vjerojatno će dovesti do ugovornih sporova, a ne kooperativnog načina rješavanja problema kada dođe do poteškoća. Stvaranje, odnosno poboljšanje suradnje i razvijanje oblika ugovaranja temeljenih na dobrim odnosima preporučuje se kao način razbijanja začaranog ciklusa loše komunikacije te kulture kontradiktornosti. Kako bi se poboljšala učinkovitost građevinske industrije, kako u smislu omjera cijene i kvalitete, tako i profitabilnosti, mora se početi uvoditi radikalna inovacija u percepciji, postavljanju i upravljanju odnosima između klijenata, projektanata, izvođača radova i dobavljača (Nicolini i dr., 1999.).

Institut gospodarenjem građevinama (engl. *The Facility Management Institute*) opisuje gospodarenje građevinama kao upravljanje i koordinaciju međusobno povezanih „ljudi, proces i mjesto“ pitanja i funkcija unutar organizacije. Međunarodna udruga gospodarenja građevinama (engl. *International Facility Management Association – IFMA*) 2006. definira gospodarenje građevinama kao „profesiju koja obuhvaća više disciplina kako bi se osigurala funkcionalnost izgrađenog okoliša promjenom ljudi, mjesta, procesa i tehnologije“ (International Facility Management Institute, 2017.), te su brojne razine poslovne odgovornosti

stručnjaka u upravljanju građevinama grupirane u devet glavnih funkcionalnih područja. Rondeau i dr. (2006.) navode ta funkcionalna područja:

- planiranje građevina dugog vijeka;
- godišnje planiranje (taktičko planiranje);
- financijsko predviđanje i upravljanje;
- stjecanje i/ili raspolaganje nekretninama;
- planiranje unutarnjeg prostora, specifikacija rada te upravljanje instalacijama;
- arhitektonsko i inženjersko planiranje i projektiranje;
- izgradnja i/ili adaptacijski radovi;
- održavanje i poslovanje postrojenja; te
- integracija telekomunikacija, sigurnost, i opći administrativni poslovi (priprema i posluživanje hrane, upravljanje evidencijama, reprografija, transport i pismovne usluge).

U novije vrijeme gospodarenje građevinama postalo je raznovrsno, više usmjereno prema željama i zahtjevima kupaca. Stoga danas u jednakoj mjeri obuhvaća stara „tradicionalna“ shvaćanja, kao i ona apsolutno nova. Pokriva iznimno široko polje djelovanja tipologijom ugovora za pružanje usluga. Obuhvaća radno mjesto, usluge podrške, imovinu, poslovne nekretnine i infrastrukturu. Općenito, usluge koje se odnose na upravljanje građevinama raspona su od izgradnje operativnih servisa do upravljanja gradnjom i nekretninama. Vrlo važna točka u području upravljanja građevinama je zadovoljstvo kupaca pruženom uslugom, te bi od velike pomoći bila mogućnost cjelovitog mjerenja kvalitete proizvoda i usluga povezivanjem mjera kvalitete sa stvarnim ponašanjem korisnika. Korisnicima je teško vidjeti korist dugoročnog planiranja, kao i ekonomske motive. U nedostatku jasnih kriterija kvalitete usluga i kvalitetnog pružanja usluga održavanja zgrada, posljedice ostaju nepoznate dugo vremena (Lepkova i Uselis, 2013.).

Opseg gospodarenja građevinama iznimno je širok. Vrlo je blizak odnos s glavnim poslovanjem organizacije i ne odnosi se samo na redovito održavanje građevine. Provedba upravljanja građevinama u organizaciji nije relevantna i prikladna samo kod poslovnih organizacija, već je

vrlo važna za sve sektore neovisno jesu li privatni ili javni. U skladu s time, upravljanje građevinama je bitna praksa u svim sektorima; igra važnu ulogu posebice u javnom sektoru u razvoju društveno-gospodarskog napretka zemlje (Wan-Hamdan i dr., 2011.). Lindholm i Suomala (2005.) smatraju da postoje znatni pokazatelji kako privatni i javni sektor nabavku kapitalnih projekata provodi samo na temelju početnog (kapitalnog) troška. Proces donošenja odluka složen je i zahtjevan problem s obzirom na četiri otegotne okolnosti unutar kojih se proces provodi – multikriterijalnost, različiti donositelji odluka, stupanj rizika i nesigurnosti te nepotpune informacije, odnosno neprecizni i nejasni podaci (Singh i Tiong, 2005a). Uz navedene elemente subjektivnost i objektivnost odluke otežavaju provedbu procesa donositeljima odluka (Utama i dr., 2019.). Dodatna subjektivnost i rizik prilikom provedbe procesa pojavljuje se ukoliko se postupak odlučivanja temelji isključivo na iskustvu i procjeni donositelja odluka. Zbog odluka koje se donose tijekom faze projektiranja građevine, a imaju utjecaj na kapitalne troškove korištenja građevine, upravitelj građevine treba inzistirati na razvoju troškovnog modela životnog ciklusa građevine u najranijoj fazi projekta. Iako se proračun za upravljanje građevinama može doimati kao mala stavka u odnosu na ukupni proračun, vrijedno je razmatrati ga s obzirom na utjecaj koji ima i uštedu koju može ostvariti.

Upravljanje, odnosno gospodarenje građevinom, strateški je pristup koji se može upotrijebiti pri upravljanju marinom. Cilj je upravljanja građevinom dobiti najbolje rezultate i učinke iz očuvanja, unapređenja i uporabe marine s raspoloživim resursima. Analiza izračuna svih troškova građevine tijekom njenog životnog ciklusa pruža donositeljima odluka kvalitetan alat za odlučivanje u pogledu investiranja i upravljanja marinama s mogućnošću određivanja čak i najmanjih troškova. Metoda troškova životnog ciklusa može se i poželjno bi bilo da se koristi kao jedan od alata za upravljanje marinama. Ponajprije omogućuje odabir optimalnog rješenja, a potom omogućuje učinkovito upravljanje građevinom tijekom njene uporabe i održavanja (Aouad i dr., 2001.). Metoda može biti korisna i kao vodič za održavanje građevina, u smislu da se osigura učinkoviti sustav upravljanja troškovima u skladu s politikom ekonomskog održavanja tijekom uporabe građevine. U fazi projektiranja mogu se istaknuti različiti sustavi održavanja koji će se nakon gradnje usvojiti. Odabirom ciklusa održavanja i učestalosti popravljivanja odnosno zamjene dijelova sustava, potrebnih poboljšanja, izmjena ili obnavljanja, može se

utjecati na definiranje raspoloživih sredstava potrebnih za redovito održavanje građevine (Aouad i dr., 2001.). Svim sudionicima u projektu, a posebice investitorima, u interesu je ostvariti tri projektna cilja - kvalitetnu gradnju, niže troškove i kraće vrijeme gradnje. Investitori koji moraju podmiriti kapitalne troškove, odnosno podmiriti trošak gradnje, zapravo imaju vrlo malo utjecaja na vrijeme, trošak ili kvalitetu gradnje (Ozsariyildiz i Tolman, 1998.). Stoga investitor i projektant zajedno imaju važnu ulogu u odlučivanju o troškovno učinkovitim i ekološki svjesnim izborima prilikom odabira načina gradnje i materijala. Izabrani način gradnje značajno utječe na potrošnju resursa i na perspektive upravljanja građevinom, što značajno utječe na godišnje troškove uporabe i održavanja (Singh i Tiong, 2005b).

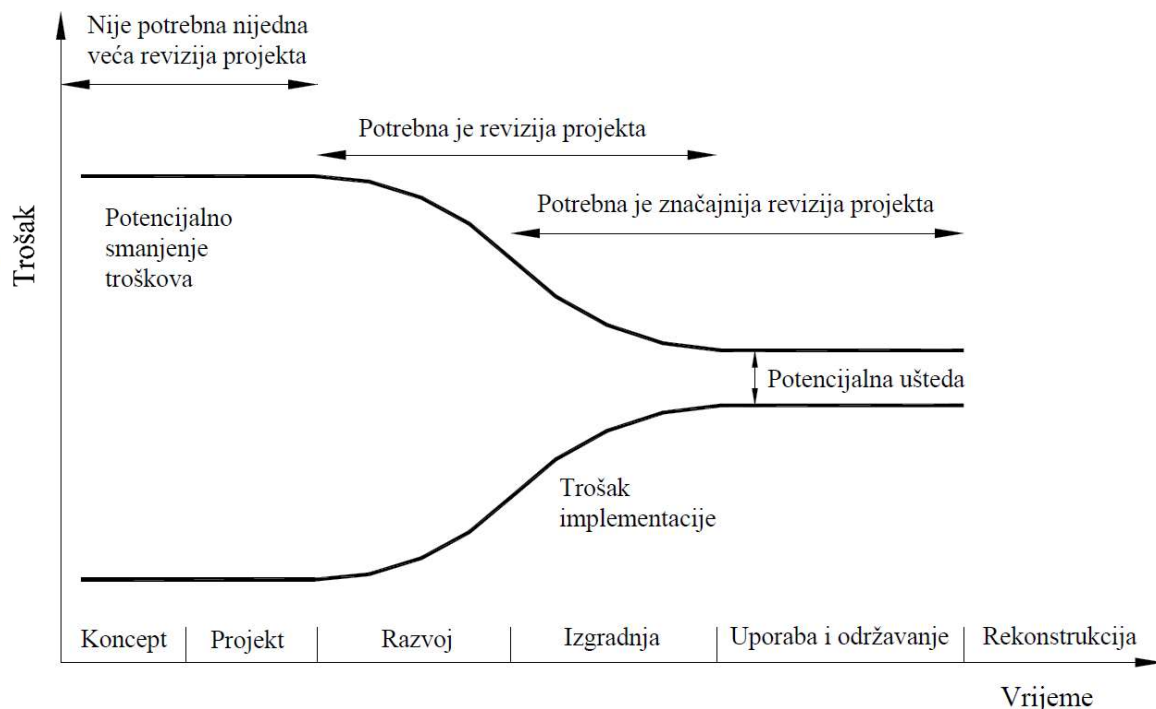
Prema Ahmedu (1995.), donošenje odluka na temelju podataka zahtijeva da uprava, odnosno donositelji odluka imaju povjerenja u prikupljene podatke, stoga podaci moraju biti točni, pravodobni i pouzdani. Vrijeme potrebno za prikupljanje podataka i proces analize mogu ostaviti nedovoljno prostora za iznimno važan dijalog s donositeljima odluka i ponovnim pokretanjem alternativnih opcija (Ammar i dr., 2013.). Prikupljanje podataka na kojima će se bazirati model izračuna troškova životnog ciklusa nije jednostavan zadatak, međutim analiza troškova može dati valjan rezultat jedino ako su prikupljeni podaci pouzdani (Emblemsvåg, 2003.). Nedostatak dosljednih i pouzdanih podataka za preciznu analizu i dalje predstavlja ozbiljnu poteškoću (Pelzeter, 2007.). Kapitalni i operativni troškovi mogu se procijeniti korištenjem raznih metoda, kao što su primjerice ekstrapolacija povijesnih podataka i mikroekonomska analiza. Stoga je od vitalne važnosti razviti pouzdan sustav baze podataka po kojemu se preciznije može utvrditi procjena potrebnih parametara (Singh i Tiong, 2005b).

Kako bi se analiza troškova životnog ciklusa koristila u investicijskim odlukama, donositelji odluka moraju primijetiti koristi od njena korištenja. Ograničeni kapacitet obrade velike količine informacija donositelja odluka dovode do nedostatka pozornosti za strateške probleme upravljanja troškovima. Korištenjem jednodimenzionalnih alata koji integriraju različite razine odluka (kao što su okoliš, ekonomičnost, kvaliteta, vrijeme) može se poboljšati protok informacija i način odlučivanja (Gluch i Baumann, 2004.). Metoda izračuna troškova životnog ciklusa i dalje se suočava sa značajnim praktičnim problemima poput nedostatka valjanih i

pouzdanih podataka koji služe kao ulazni parametri za generiranje modela. Nedostatak podataka utječe na proces donošenja odluka koji se odvija u području neizvjesnosti te potiče odlučivanje na osnovi mnogih pretpostavki. Pretpostavke se na osobnoj razini donose prema vlastitim vrijednostima i motivaciji, što predstavlja gubitak u smjeru objektivnosti i realnog sagledavanja problema. Iz navedenog proizlazi da je upitna pouzdanost analize troškova životnog ciklusa kao pružatelja kvalitetnih i pouzdanih informacija za strateški odgovorne odluke, ukoliko se navedeni nedostaci ne riješe.

Nakon što je građevina predana investitoru na uporabu, gotovo da i ne postoji prilika za promjenu i poboljšanje ukupnog troška vlasništva, jer odluka o posjedovanju ili kupnji građevine obvezuje korisnike na većinu ukupnih troškova vlasništva (HSMO, 1992.). Prema Kirk i Dell'Isola (1995.) i Mackay (citirano u Kishk i dr., 2003.), u fazi projektiranja građevine utvrđuje se najveći postotak ukupnih troškova uporabe, održavanja i popravaka građevine, čak 80-90% posto. Logično je da se odabir svake investicije, a posebno velike, temelji na analizi troškova. Međutim, odabir investicije koji se temelji samo na navedenoj analizi nije dovoljan. Zadane troškovne ciljeve važno je zadovoljiti pravilnim planiranjem i izvršavanjem upravljačkih aktivnosti. Različiti modeli troškova kao što su modeli procjene parametarskih troškova (Ferens, 1988.), modeli zamjene i drugi (Bryan i dr., 1980.; Wilson, 1986.; Wierda, 1988.) pokušavaju razmatrati i integrirati različite čimbenike troškova životnog ciklusa analitički. Procjena ili predviđanje troškova gradnje mora, uz ostale dionike procesa, uključivati investitora u razine izloženosti projekta riziku (Baccarini, 2004.). Primarna uporaba izračuna troškova životnog ciklusa je učinkovita uporaba prilikom izbora između određenog broja konkurentnih projektnih alternativa.

Iako se to može učiniti u bilo kojoj fazi projekta, potencijal njegove učinkovite uporabe je maksimalan tijekom ranih faza projektiranja (prikazano na slici 1), uglavnom zato što je većina projektnih alternativa, ako ne i sve, otvorena za razmatranje (Kishk i dr., 2003.). Osim toga, mogućnost utjecaja na smanjenje troškova kontinuirano se smanjuje kako projekt napreduje po projektnim fazama, od potpunog utjecaja prilikom koncipiranja projekta na otprilike 20% ili manje kada počinje izgradnja (Paulson, 1976.; Fabrycky i Blanchard, 1991.).



Slika 1. Odnos životnih troškova i vremena implementacije (oblikovao autor prema Flanagan i dr. (1989.))

Najbolja ravnoteža među elementima troškova postiže se kada je ukupni trošak životnog ciklusa minimiziran (Landers, 1996 citirano u Shil and Parvez, 2007.). Glavna prepreka s kojima se suočava analitičar je poteškoća u postizanju odgovarajuće razine informacija na kojima se temelji analiza troškova cijelog životnog vijeka (Onukwube, 2006.). Iako se metoda izračuna troškova životnog ciklusa valorizira kao iznimno korisna, još uvijek nije zaživjela u građevinskoj industriji u potpunosti. Autori Ferry i Flanagan (1991.) smatraju kako je metoda stekla naklonost građevinske industrije, međutim njena praktična primjena ne prati teorijsku. Njihovo razmišljanje podržavaju i Aouad i dr. (2001.) koji metodu opisuju kao metodu koja i dalje vrvi nejasnoćama. Prema radu (Bakis i dr., 2003.) tvrdnje autora idu u smjeru ograničene primjene metode izračuna troškova životnog ciklusa, bez obzira na njenu važnost. S druge strane istraživanje autora u radu (Kirkham, 2005.) potvrđuju tvrdnju da se primjena izračuna troškova životnog ciklusa u okviru građevinarstva brzo povećava.

Kada se podaci prikupljaju kako bi se izračunali ukupni troškovi, postoji određena razina nesigurnosti oko dodjeljivanja inženjerske i ekonomske vrijednosti ulaznih parametara i

dobivenih izlaznih varijantnih rješenja. Razina povjerenja koju donositelji odluka imaju u analitičke rezultate, bazira se na njihovoj vjeri u točnost i preciznost korištenih podataka tj. ulaznih parametara u analizi. Povjerenje se može steći educiranjem i razumijevanjem izvođenja postojećih vrijednosti te istraživanjem za razvoj boljih vrijednosti. Za rješavanje problema neizvjesnosti dostupne su i brojne tehnike. Međutim, analitičari i donositelji odluka moraju biti dovoljno upoznati s konceptima i tehnikama koje se koriste za mjerenje neizvjesnosti. Educiranje i u ovom pogledu pruža rješenje, pa će osim povećanja razine povjerenja povećati i percepciju analize troškova životnog ciklusa kao rigoroznog i korisnog analitičkog alata. Upravitelj građevinama prepoznat je kao stručnjak koji razumije pokretače troškova životnog ciklusa vezanih uz prostore, poslovnu podršku ili podršku osoblju. Odluke donesene na početku građevinskog projekta, tijekom faze projektiranja, imat će najveći utjecaj na kapitalne troškove izgradnje, ali također mogu utjecati i na uporabne troškove. Navedena analiza pruža metodologiju sveobuhvatne i opsežne analize investicijske odluke. Logična je, relativno je jednostavna za razumijevanje i izvođenje, a njezini rezultati korisni su donositeljima odluka. Cilj ovoga rada je unaprijediti teorijske postavke modela za procjenu troškova životnog ciklusa, razviti model procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava pontona i plovila, poboljšati razinu razumijevanja u korisnost alata prilikom donošenja odluka i unaprijediti metodologiju, kako bi ista postala rutinski alat za podršku upravljanju i donošenju odluka u investicijskim projektima gradnje marina.

2.2. Troškovi životnog ciklusa građevine

Troškovi životnog ciklusa (engl. *Life Cycle Costing* – LCC) mogu se definirati kao tehnike za ispitivanje i utvrđivanje svih izravnih i neizravnih troškova, u novčanom smislu, projektiranja, izgradnje i upravljanja građevinom (uporaba, održavanje, podrška i zamjena) tijekom čitavog vijeka trajanja, uključujući i troškove rušenja. Prema normi ISO 15686, dio 5 (BSI The International Organization for Standardization, 2017.) trošak životnog ciklusa može se definirati kao: „ekonomska procjena s obzirom na sve dogovorene projicirane značajne i relevantne troškove kroz razdoblje od analize izražene u novčanoj vrijednosti. Projicirani troškovi su troškovi potrebni za postizanje definiranih razina izvedbe, uključujući i pouzdanost, sigurnost i

dostupnost“. Analiza troškova životnog ciklusa je ekonomski i inženjerski alat za procjenu izbora između različitih mogućnosti projektiranja građevine, uspoređujući sve različite, značajne troškove od faze projektiranja do faze gradnje, uporabne troškove i troškove održavanja u određenom razdoblju u jednakim ekonomskim uvjetima (Sacks i dr., 2012.). Primarni cilj korištenja analize je procijeniti i optimizirati troškove životnog ciklusa građevine, istovremeno zadovoljavajući zahtjeve klijenata i/ili korisnika, kao i potrebne specifikacije gradnje. Analiza stoga osigurava pravičnu usporedbu na kvantitativnoj osnovi između konkurentnih mogućnosti projektiranja unutar istog procesa donošenja odluka, kako bi se odabrala najprikladnija i troškovno najučinkovitija opcija (El-Haram i dr., 2002.). Metoda analize troškova životnog ciklusa koristi se kao inženjerska metoda primjenjiva u fazi koncipiranja i projektiranja građevine, te kao proaktivna metoda za upravljanje i proračun troškova održavanja i uporabe građevina (Krstić, 2011.). Iako postoji poticaj u nekim područjima projekata javnog sektora da se metoda izračuna troškova životnog ciklusa uvede u upravljanje projektima, u privatnom sektoru njena je uporaba i dalje ograničena (Kirkham i dr., 2004.). Vlada Velike Britanije izdala je izvješće o građevinarstvu u kojemu je jasno istaknuta nužnost ispravne gradnje uz uvažavanje ekonomske učinkovitosti i dugoročnih troškova izgradnje građevina (Potts i Ankrah, 2013.).

Haworth (citirano u Oduyemi, 2015.) sažima prednosti metode izračuna troškova životnog ciklusa u sljedećim jednostavnim ideologijama:

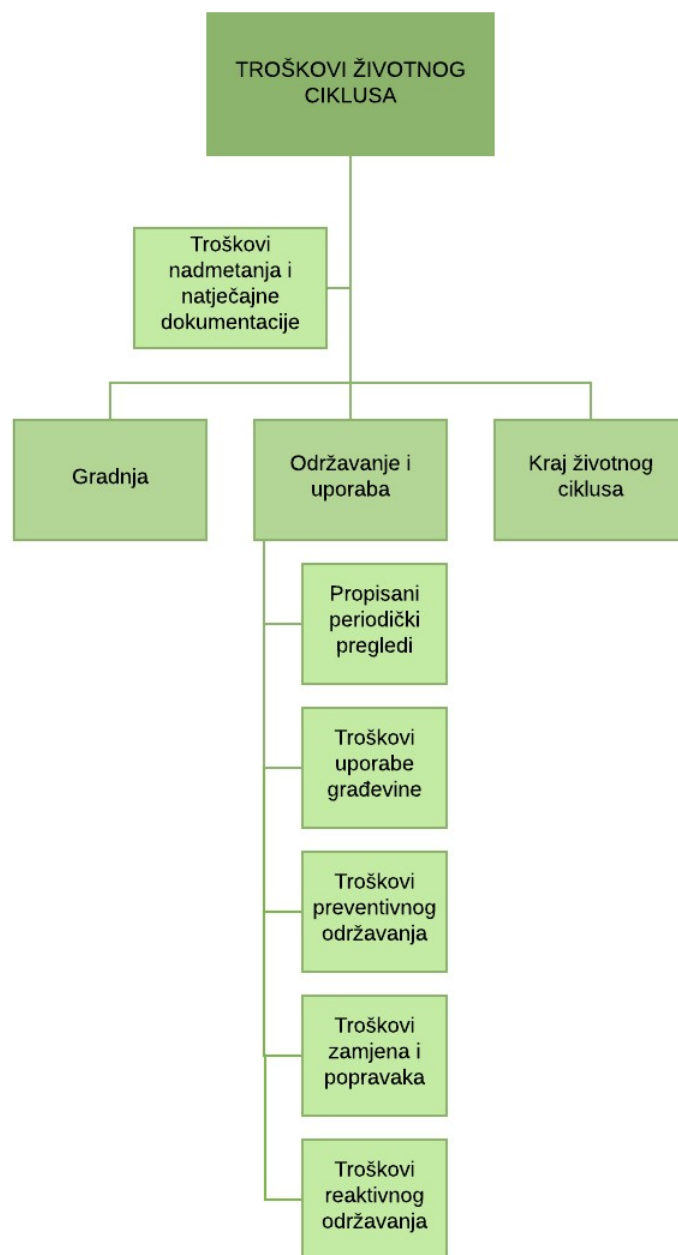
- metoda se mora koristiti u svim fazama odlučivanja tijekom procesa projektiranja;
- metoda mora sadržavati operative troškove građevine; te
- logički proces mora obuhvatiti sve čimbenike koji utječu na donošenje odluke.

Izračun troškova životnog ciklusa pruža osnovu za usporedbu početnih ulaganja s budućim troškovima tijekom određenog razdoblja. Nacionalni institut za standarde i tehnologiju u svom priručniku iz 1996. godine (Fuller i Petersen, 1996.) trošak životnog ciklusa definira kao ukupni diskontirani novčani trošak posjedovanja, uporabe, održavanja i rušenja zgrade ili građevinskog sustava tijekom određenog razdoblja. Analiza troškova životnog ciklusa može se obavljati na raznim vrstama građevina, velikim ili malim zgradama ili na izoliranom građevinskom sustavu. Mnogi vlasnici i investitori u građevine primjenjuju principe analize troškova životnog ciklusa

prilikom odlučivanja u pogledu izgradnje ili poboljšanja, odnosno rekonstrukcije građevine. Od vlasnika kuće koji se odlučuje za laminatni pod umjesto drvenog parketa, do državnog tijela koje bira betonsku podlogu umjesto asfalta za cestu. U oba primjera vlasnici/investitori uzimaju u obzir buduće troškove održavanja i zamjene u njihovim odabirima. Iako je početni trošak faktor u njihovim odlukama, on nije i jedini.

Sklonost poistovjećivanja troškova kupnje ili stjecanja građevine s troškovima životnog ciklusa široko je rasprostranjena. Neuspjeh u obradi svih izdataka projekta često dovodi do odabira alternative ispod optimalne razine cijene. Upravo je zbog nedostatka ključnih informacija važno za vlasnike tj. investitore uspostaviti generalno upravljanje kapitalnim projektima (engl. *Capital Project Management* – CPM), sa strogim smjernicama za procjenu i kontrolu projekata, kao i osobu odgovornu za upravljanje kapitalom koja je odgovorna za procjenu i odabir imovine s najnižim troškovima životnog ciklusa (Ellis, 2007.). Iako kupovna cijena i troškovi životnog ciklusa definiraju ukupnu financijsku vrijednost organizacije u čijem je vlasništvu građevina, prikazuju se na različitim financijskim dokumentima (jedan na bilanci, a drugi u računu dobiti i gubitka). Odnos između njih je rijetko shvaćen i često ignoriran u potrazi za profitabilnošću i učinkovitosti organizacije. Odsutnost kvalitetnog procesa upravljanja onemogućava korisne inpute dionika u fazi definiranja projektnih zahtjeva i često dovodi do fragmentacije projekta. Fragmentacija projekta događa se kada se različite faze projekta smatraju neovisnim dijelovima. Kada su projekti fragmentirani, dionici imaju tendenciju da se usredotoče samo na vidljive troškove projekta i podcjenjuju izravne, neizravne i kumulativne troškovne utjecaje svoga djelovanja. Kao rezultat toga je činjenica da gotovo i nema poticaja da se primijene principi izračuna troškova životnog ciklusa, jer je cilj svake skupine da se minimizira trošak za koji su odgovorni bez razmatranja učinka njihovih aktivnosti na ukupan trošak projekta. U nedostatku cjelovitog okvira za upravljanje projektima teško će se učinkovito koristiti princip analize troškova životnog ciklusa.

Struktura troškova životnog ciklusa prema (Krstić i Marenjak, 2012.) sastoji se od troškova gradnje, održavanja i uporabe te preostalih troškova na kraju životnog ciklusa (slika 2).



Slika 2. Struktura troškova životnog ciklusa (Krstić i Marenjak, 2012.)

Troškovi održavanja i uporabe građevine podijeljeni su u pet troškovnih cjelina: zakonske periodične inspekcije, operativni troškovi građevine, troškovi preventivnog i reaktivnog održavanja te troškovi zamjena i popravaka. Zakonom propisani pregledi (inspekcije) su različite aktivnosti koje su regulirane relevantnim zakonima i propisima, a provode se za zaštitu sigurnosti, zdravlja i života ljudi. Pregledi se sastoje od testova i inspekcija koji se provode na određenom dijelu građevine, opremi i/ili instalacijama. Tradicionalna metoda procjene

građevinskih projekata koncentrira se i naglašava uglavnom početni kapitalni trošak. Ipak, s operativnim troškovima koji čine čak sedamdeset posto ukupnih troškova zgrada tijekom čitavog životnog ciklusa (Boussabaine i Kirkham, 2004.), ova preokupacija početnim kapitalnim troškovima rezultirala je projektima koji investitoru dugoročno ne predstavljaju najbolju vrijednost glede novca.

Za rezultate koji su deterministički ne postoji nejasnoća u rangiranju alternativa, a odluka je jasna. Međutim, analiza troškova životnog ciklusa bavi se budućnošću, a budućnost je nepoznata (Kishk i dr., 2002.). Analiza troškova uspostavljena na svakoj razini omogućava predviđanje troškova svih faza životnog vijeka građevine i optimizaciju donošenja odluka tijekom procesa projektiranja građevine temeljenu na ukupnim rezultatima (Arja i dr., 2009.). Preispitivanjem metode na ovaj način osigurava se logičnost i sustavnost procesa, za razliku od ad-hoc postupka koji je iznimno neučinkovit prilikom donošenja odluka na osnovi dostavljenih informacija. Bitno je stajalište da građevina treba biti projektirana na takav način da analitičar može provesti potrebnu analizu kako bi se postigla svrha projekta (Peças i dr., 2013.). Zabilježeno je da se može utjecati na raspon od čak 70% do 85% troškova održavanja i uporabe građevine tijekom faze projektiranja (Asiedu i Gu, 1998.), što predstavlja značajan dio ukupnih troškova životnog ciklusa građevine.

Troškovi održavanja i uporabe građevine značajni su u strukturi troškova životnog ciklusa. Troškovi uporabe uključuju troškove energenata (struja i toplinska energija), trošak opskrbe vodom, zbrinjavanje otpada, IT usluge, kao i troškovi čišćenja građevine i okoliša. Preventivne aktivnosti održavanja sastoje se od radova i popravaka koji se ponavljaju u jednakim vremenskim intervalima, ovisno o vijeku trajanja građevine ili nekog njenog strukturnog elementa. Te se aktivnosti provode kako bi se građevina očuvala u željenom stanju. Troškovi zamjene i popravaka su troškovi aktivnosti koje se moraju poduzeti, kako bi se u obzir uzele promjene elemenata, materijala i konstrukcije. Teško je predvidjeti aktivnosti reaktivnog održavanja, jer je gotovo nemoguće predvidjeti sve moguće kvarove. Broj tih aktivnosti je velik, jer reaktivne aktivnosti održavanja obuhvaćaju troškove popravaka i zamjena dijelova i materijala zbog kvarova i defekata. Politikom redovitog, planiranog i preventivnog održavanja

smanjuju se troškovi zastoja uporabe, a resursi se koriste u obliku troškova održavanja. Iznimno je važno redovito i planirano održavanje za one dijelove sustava čiji zastoj generira visoke troškove, dok se dijelovi sustava niskih troškova zastoja mogu mijenjati po potrebi ili isteku ispravnosti. Ključni dio upravljanja troškovima je pronaći optimalnu razinu usluge održavanja, kako bi ista bila u skladu s ciljem organizacije za postizanjem minimalnih ukupnih troškova.

Na temelju prethodno iznesenog, definiran je predmet istraživanja fokusiran na podršku odlučivanju u upravljanju i gospodarenju marinama, iz kojega slijedi definiranje zadatka istraživanja. Zadatak istraživanja je osmišljavanje i oblikovanje modela izračuna troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava pontona i plovila koji bi služili kao potpora strateškom vođenju i upravljanju troškovima marina na temelju provedenih analiza dostupnih podataka. S obzirom da se radi o modelu otvorenog tipa – isti je moguće nadopunjavati s podacima i dodatnim kriterijima i ciljevima analize - rezultati ovog istraživanja praktično su primjenjivi i korisni u budućnosti.

Određivanje troškova cijelog životnog ciklusa (engl. *Whole Life Costing* – WLC) značajno se mijenjalo tijekom godina (Kishk i dr., 2003.). Prije nego se naziv analize ustalio kao analiza troškova životnog ciklusa analiza je u literaturi bila označena kao terotehnologija, troškovi kroz život, troškovi u uporabi, ukupni troškovi života, ukupni trošak vlasništva, krajnji trošak trajanja i ukupni trošak (Kirk, 1995.; Hodges, 1996.; Seeley, 1996.; Edwards i dr., 2000.). Prema (Schade, 2003.), postoje razni pojmovi koji se koriste u literaturi, poput izraza trošak uporabe, troškovi životnog ciklusa, cjeloživotni troškovi i procjena cjeloživotnih troškova (engl. *Whole Life Cycle Assesment* – WLCA). Izraz *troškovi životnog ciklusa* prvi je puta upotrijebljen 1965. godine u izvješću pod nazivom „Troškovi životnog ciklusa u nabavi opreme“, koje je izradio Institut za upravljanje logistikom, Washington D.C., za pomoćnika tajnika obrane za instalacije i logistiku (Dhillon, 2010.). Autori Flanagan i Jewell (2005.) navode promjenu terminologije u uporabi tijekom godina, od „troškova u uporabi“ do „troškova životnog ciklusa“ i dalje do „cjelokupnog troška života“. Definirali su novi izraz „procjena cjelokupnog života“ koji se danas koristi na globalnoj razini, a koji sadrži razmatranje troškova i uspješnosti građevine (imovine) tijekom svog vijeka trajanja. Neki od ovih termina, poput terotehnologije sada se manje primjenjuju.

Prethodno navedeni standard ISO 15686 (BSI The International Organization for Standardization, 2017.) naglašava razliku između izračuna troškova životnog ciklusa i cjeloživotnih troškova građevine.

Cjeloživotni troškovi građevine (grafički prikazani na slici 3) uz troškove životnog ciklusa građevine obuhvaćaju i nekonstrukcijske troškove i prihode građevine. S obzirom na problematiku prikupljanja osjetljivih podataka u marinama, uz ovo istraživanje se ograničilo na troškove životnog ciklusa.



Slika 3. Strukturalna raščlamba troškova građevine (Krstić, 2011.)

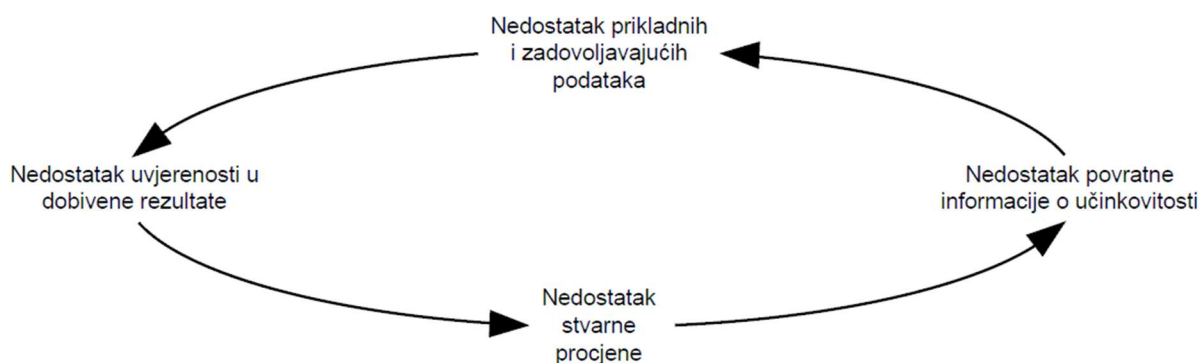
Metoda izračuna troškova životnog ciklusa razvijena je sredinom šezdesetih godina prošloga stoljeća u američkom Ministarstvu obrane u svrhu nabave vojne opreme (Krstić i Marenjak, 2012.). Praktični interes za analizu troškova u građevinarstvu datira još iz 1950-ih godina, kada je Institut za istraživanje građevina (engl. *Building Research Establishment* – BRE) dao potporu istraživanju o „troškovima uporabe“ (Stone, 1960.). 1974. godine Britanski institut za standarde objavio je standard BS 3811 (BSI The International Organization for Standardization, 1974.), koji opisuje slijed faza životnog ciklusa. Vodič kroz troškove životnog ciklusa objavio je tehnički odjel Odbora za terotehnologiju (Committee for Terotechnology 1977., citirano u Kishk i dr., 2003.), a od zanimljivijih valja spomenuti i vodič vezan uz tehnike cjeloživotnih troškova objavljen od HM Treasury 1991. godine, koji je kasnije upotpunjen 1997., 2003. i 2018. godine (HM Treasury, 2003., 2018.).

Metoda analize troškova životnog ciklusa građevine pruža način usmjeravanja pristupa gradnji prema održivosti, jer omogućuje ekonomsko razmatranje koristi kao što je smanjena potrošnja energije tijekom uporabe građevine, a koje čini značajnu razliku u donošenju investicijskih odluka javne vlasti. U tom kontekstu metoda može biti i ključni čimbenik za usvajanje novih i inovativnih održivih građevinskih proizvoda i tehnika gradnje. Gradnja usmjerena na održivost može imati veće kapitalne troškove unaprijed, ali nudi srednjoročnu i dugoročnu troškovnu učinkovitost (SCI-Network, 2011.). Stoga je važno pokazati investitoru u ranoj fazi projektiranja odnos između odabira načina gradnje i građevnih elemenata i rezultirajućeg troška, ovisno o odabranom načinu (Schade, 2003.). Komunikacija među dionicima procesa, posebice na relaciji investitor – projektant kritična je tijekom projektiranja i analize troškova. Prema autorima (Latham, 1994; Blyth i Worthington, 2010.) strukturirani intervjui mogu služiti kao iterativni proces razmjene informacija, uključujući i povratne informacije prikupljene iz prethodnih projekata.

Iako je priznata u polju održivosti, integracija metode analize troškova životnog ciklusa je ograničena (Norris, 2001; Hunkeler i Rebitzer, 2003; Kloeppfer, 2008.). Primarna motivacija procjena dobivenih uporabom metode troškova životnog ciklusa je u potpunosti uzeti u obzir financijske troškove svih važnih segmenata životnog ciklusa te sagledati njihov utjecaj koji u konačnici proizlazi iz jedne odluke. To se može postići popisivanjem troškova, odnosno korištenjem informacija, kako bi navedeni utjecaji bili uočljivi u trenutku donošenja odluke (Swarr i dr., 2011.). Iako je većina načela troškova životnog ciklusa dobro razvijena u teoriji, metoda još uvijek nije dobila široku praktičnu primjenu. Implementacija analize troškova životnog ciklusa postaje mnogo važnija kako dugoročni vlasnici objekata i korisnici sve više zahtijevaju dokaze o visini ukupnih troškova njihovog vlasništva. Novi ugovorni modeli nabave, kao što su Model privatnog financiranja javnih objekata i Javno-privatno partnerstvo zahtijevaju organizacije koje dugoročno preuzimaju odgovornost za izgradnju, upravljanje i održavanje građevina. Investitori žele najbolju moguću vrijednost za novac od svoje imovine. Jedan od načina da se to postigne je da se smanje troškovi životnog ciklusa. Smanjenje troškova životnog ciklusa je provođenje sustavnog pristupa koji omogućuje projektnom timu postizanje kompromisa između zahtjeva investitora, operativne učinkovitosti i dostupnosti građevine,

kapitalnih troškova s jedne strane i budućih tekućih troškova s druge strane (El-Haram i dr., 2006.).

Slika 4 prikazuje začarani krug implementacije modela za izračun troškova građevine i razloge zašto se izračun u praksi još uvijek ne koristi u velikoj mjeri. Relevantnost rezultata izračuna troškova životnog ciklusa često se smatra prilično nesigurnom (Sterner, 2000.). Nesigurnost se razvija uglavnom zbog nedostatka podataka o ostvarenim troškovima i prihvaćenih industrijskih standarda za opisivanje životnog ciklusa ponašanja građevina i sustava internih procesa (Abraham i Dickinson, 1998.).



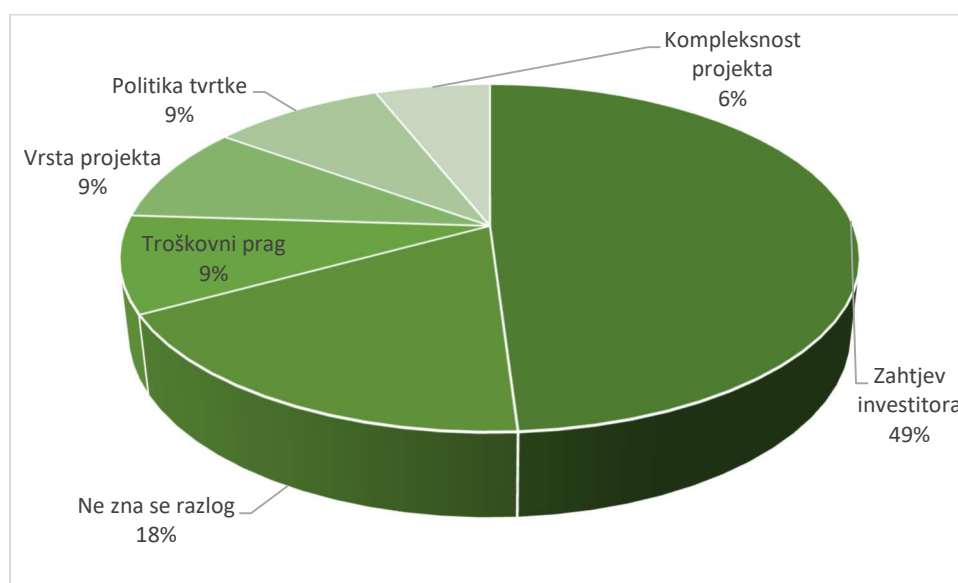
Slika 4. Začarani krug implementacije modela za izračun troškova građevine (oblikovao autor prema Kishk i dr. (2003.))

Nedostatak podataka o troškovima ponajprije se odnosi na ograničenu mogućnost predviđanja budućih posljedica i izostavljanja pouzdanih povijesnih informacija o troškovima. Stoga mnogi parametri nisu definirani i lako predvidivi i moraju se procijeniti u izračunu. Primjeri parametara uključuju duljinu stvarnog životnog ciklusa, proizvodnju odnosno izgradnju, rad te planirane i neplanirane troškove održavanja. Iako investitori i vlasnici građevina obično imaju različite zapise i baze podataka vođene kroz knjigovodstvo, zapise o građevinama i stanovima ili planove za rad i održavanje, isti se često ne organiziraju na način da je moguće naizmjenično navesti dobivene podatke i koristiti ih za izračun troškova životnog ciklusa. Neke od prepreka za korištenje analize troškova životnog ciklusa su nedostatak jedinstvene metodologije i standardnih formata za izračunavanje troškova životnog ciklusa, teškoća uklapanja strategija

uporabe i održavanja u fazi projektiranja (Clift, 2003.). Posebno postoji nedostatak temelja praktičnog izračuna metodologija povezana s određivanjem strukture troškova životnog ciklusa sustava, kao i metode i alate za procjenu tih troškova. Poznavanje strukture troškova života sustava i metoda njegovog izračuna je važna, posebno u trenutku odabira sustava u ispunjavanja uporabnih zahtjeva. Trenutačno nisu dostupne baze podataka o troškovima životnog ciklusa za marine, posebice za pontone i sidreni sustav marine. Stoga se preporuča sagledati i zabilježiti troškove na općoj razini i detaljnije gdje je to relevantno, kako bi se stvarila baza podataka koja će poslužiti u budućim izračunima i procjenama troškova. Za kvalitetnu i pronicljivu analizu troškova životnog ciklusa kritične su dobre procjene različitih stavki koje troškovno utječu na početnu investiciju izgradnje i periodične aktivnosti održavanja i rekonstrukcije. Troškovi izgradnje odnose se na stavljanje projekta u uporabu. Podaci o troškovima mogu se prikupiti od prethodnih zapisa o gradnji, dobivenih ponuda i procjene stručnjaka iz područja građevinarstva s iskustvom u gradnji marina (pogotovo kada se u gradnji koriste novi materijali i tehnike). Osim toga, postoji nedostatak motivacije u optimizaciji troškova, jer su naknade za izradu i procjenu troškova izražene kroz neznatan postotak ukupnog troška projekta (McGeorge, 1992.). Autori u radu (Ludvig i Gluch, 2010.) kao teškoće uporabe analize navode nedostatke formalnih zakonskih smjernica i teškoće pri procjeni budućih troškova i prihoda, kao i nedostatak ponude i potražnje za održivim građevinama. Može se zaključiti da je izračun i analizu troškova životnog ciklusa teško primijeniti u stvarnom poslovanju. Iako predviđanje troškova nije novi koncept u građevinarstvu, analiza troškova životnog ciklusa predstavlja novi niz izazova za industriju općenito (Hunter i dr., 2005.; Boussabaine, 2007.; Chiurugwi i dr., 2015.), a posebice na području morskih i podmorskih struktura.

Glavna prepreka s kojima se suočava netko tko želi provesti analizu troškova životnog ciklusa je problem pri dobivanju odgovarajućih informacija na temelju kojih bi se kalkulirali ukupni troškovi. To je problem ponajprije zbog nedostatka prikladnih, relevantnih i pouzdanih povijesnih podataka i informacija (Bull, 2003.). Osim toga, troškovi prikupljanja podataka su ogromni (Ferry i Flanagan, 1991.). Vrijeme potrebno za prikupljanje podataka i proces analize ne ostavlja dovoljno prostora za neophodnu komunikaciju i dijalog s donositeljem odluka i

ponovnim pokretanjem projektnih alternativna i opcija. Ovo je jedan od razloga zašto su računalni modeli vrijedni (Griffin, 1993.). Još jedan problem je potreba predviđanja daleko unaprijed, mnogih čimbenika kao što su životni ciklusi građevine i njenih dijelova, budućih troškova poslovanja i održavanja te rast ili pad vrijednosti novca kroz vrijeme (Ferry i Flanagan, 1991.). Osim toga, neizvjesnost koja okružuje varijable u svakoj analizi troškova životnog ciklusa treba biti ispravno procijenjena. Olubodun i suradnici u svom su radu (Olubodun i dr., 2010.) analizirali razinu korištenja analize troškova životnog ciklusa na području Velike Britanije. Ispitanici su identificirali ključne prepreke provedbi metode izračuna troškova životnog ciklusa kao nedostatak razumijevanja metode, odsutnosti standardizirane metodologije te činjenice da je riječ o složenom procesu. Na slici 5 su prema navedenom istraživanju prikazani kriteriji koji diktiraju upotrebu metode.



Slika 5. Kriteriji koji diktiraju uporabu metode troškova životnog ciklusa (oblikovao autor prema Olubodun i dr. (2010.))

Optimalna strategija pregledavanja/popravaka kroz životni ciklus postiže se smanjenjem očekivanog ukupnog troška životnog ciklusa istodobno zadovoljavajući ograničenja dopuštene razine strukturne pouzdanosti u uporabi kroz cijelo razdoblje (Frangopol i dr., 1997.). Očekivani ukupni trošak životnog ciklusa uključuje početni kapitalni trošak i troškove preventivnog održavanja, pregleda, popravaka i kvarova. Preventivno ili rutinsko održavanje pontona

uključuje zamjenu manjih dijelova, krpanje hodne površine, popravke pukotina, čišćenje i bojanje dijelova. Pontoni se održavaju u radnom stanju odgađanjem i ublažavanjem učinaka trošenja, zamora i srodnih pojava propadanja konstrukcije. Za razliku od preventivnog održavanja, popravci mogu uključivati zamjenu određenih ključnih dijelova konstrukcije, zamjenu cijele hodne površine, ili mijenjanje dijela sidrenog ili pontonskog sustava. Popravci se događaju rjeđe, zahtijevaju više truda, uglavnom su skuplji i rezultiraju mjerljivim povećanjem pouzdanosti. Iako postoje smjernice za rutinsko održavanje, mnogi popravci temelje se na iskustvu i lokalnoj praksi radije nego na dokazanim teorijskim istraživanjima. Održavanje i inspekcije temeljene isključivo na iskustvu mogu biti skuplje i manje sigurne od onih koje se temelje na racionalnijem pristupu. Stoga je potrebno odabrati optimalnu strategiju na temelju kriterija minimalnog očekivanog ukupnog troška životnog ciklusa, uključujući i njezin učinak na strukturnu pouzdanost i očekivanim troškovima povezanim s kvarovima. Odluka o popravku ili zamjeni dijela građevine u nekom trenutku u vremenu mora se donijeti za svaku stvar, odnosno imovinu koja stari i gubi svoja kvalitativna svojstva (Ackoff i dr., 1957. i Dean, 1957. citirano u Vorster i dr., 1991.). Glavne oznake kojima se može okarakterizirati dio građevine, a da upućuje na zamjenu, klasificirane su kao izmijenjena svojstva, prekomjerno održavanje, smanjenje učinkovitosti, neadekvatnost i zastarjelost (Blank i Tarquin, 2011.).

Prema postojećim propisima i standardima aktivnosti održavanja provode se povremeno, u određenim i unaprijed određenim vremenskim intervalima, bez obzira na vrstu, tehničke karakteristike i kvalitetu gradnje građevine, kao i njezinu dob i razinu redundancije. Ovakav pristup neizbježno dovodi do nepotrebnih aktivnosti održavanja i posljedično lošu raspodjelu raspoloživih sredstava ili neodgovarajuće razine sigurnosti/razine servisiranja. Poželjno bi bilo definirati standard za primjenu odgovarajuće aktivnost održavanja kada je to potrebno i određivanje minimalne razine održavanja, a time i minimalnih troškova održavanja. Zahtjevi za smanjenje troškova i/ili vremena intervencije potiču potrebu za razvijanjem fleksibilnih, racionalnih postupaka temeljenih na riziku za utvrđivanje strategija održavanja pogodnih za svaku od građevina (Diamantoulaki i Angelides, 2013.).

U kontekstu održive javne nabave uporaba analize troškova životnog ciklusa izrazito je važna za unaprjeđenje procesa javne nabave i donošenja odluka u području određivanja procijenjene vrijednosti radova ili usluga (Perera, 2009.). Javni naručitelji se još uvijek suočavaju s teškim odlukama. Iako se od njih traži da donose odluke o nabavi koje su povoljnije za njihov okoliš i društvo, također su obvezani na načelo da se u procesima javne nabave odabire ekonomski najpovoljnija ponuda da bi se osigurala najbolja vrijednost za uloženi novac. Prema članku 68. stavku 1. Direktive 2014/24/EU Europskog parlamenta i Vijeća o javnoj nabavi (Europski parlament i Vijeće Europske unije, 2014.) trošak životnog vijeka obuhvaća, do relevantnog stupnja, sve sljedeće troškove ili dio sljedećih troškova tijekom životnog vijeka proizvoda, usluge ili radova:

- (a) troškove koje snosi javni naručitelj ili drugi korisnici, kao što su: i. troškovi nabave; ii. troškovi uporabe, kao što je potrošnja energije i drugih resursa; iii. troškovi održavanja; iv. troškovi kraja životnog vijeka, kao što su troškovi prikupljanja i recikliranja;
- (b) troškove pripisane okolišnim vanjskim učincima povezanim s proizvodom, uslugom ili radovima tijekom njihovog životnog vijeka, ako se može odrediti i provjeriti njihova novčana vrijednost; takvi troškovi mogu uključivati troškove emisije stakleničnih plinova i emisije drugih zagađivača te ostale troškove zbog ublažavanja klimatskih promjena.

Stavak 2. istog članka europske direktive navodi da se u procjeni vrijednosti predmeta javnog nadmetanja može koristiti pristup troškovima životnog vijeka, te da se u dokumentaciji o nabavi moraju navesti podaci koje trebaju dostaviti ponuditelji, kao i metodu koju će javni naručitelj koristiti za određivanje troškova životnog vijeka na temelju tih podataka. Zakonodavnim aktom Unije zajednička metoda za izračun troškova životnog vijeka još uvijek nije postala obvezna i ne primjenjuje se zajednička metoda za procjenu troškova životnog vijeka, iako je u direktivi navedena zakonska obveza korištenja.

No, pitanje je u kojoj je mjeri analiza troškova životnog ciklusa integrirana u politiku javne nabave? Imaju li naručitelji i kreatori pravnih propisa vezanih uz održivu javnu nabavu stručnost za tumačenje analiza troškova životnog ciklusa kako bi ukazali na vrijednost javnih resursa?

Ova su pitanja posebice pravovaljana, jer vlade razvijaju ekonomski poticaj koji ima snažan fokus na održivi razvoj. Velike su sume javnih sredstava dodijeljene za dogradnju infrastrukture, zgrada i komunalnih usluga na način koji smanjuje potrošnju energije i uporabu materijala, smanjuje otpad i poboljšava životni ciklus. Vlade moraju osigurati da se ta sredstva koriste na adekvatan način i za održivu javnu nabavu. S ugrađenim zahtjevom za analizu troškova, javna nabava može služiti kao troškovno učinkovit alat za postizanje tih ciljeva. Na razini Unije trebalo bi razviti zajedničke metodologije za izračunavanje troškova životnog vijeka za određene kategorije robe ili usluga. Kada te zajedničke metodologije budu razvijene, njihovo korištenje treba postati obvezno.

Neka od ključnih pitanja postavio je autor Perera unutar preispitivanja cijelog sektora javne nabave u tridesetak zemalja (Perera, 2009.):

- Troškovi životnog ciklusa još se ne smatraju kritičnom komponentom procesa javne nabave;
- Donošenje odluke na temelju analize troškova životnog ciklusa čini se kao unaprijed skuplja alternativa;
- Prijemčljivost analize troškova ključna je za promjenu načina nabave od „najbolje vrijednosti za novac“ do „najbolje vrijednosti tijekom cijelog životnog ciklusa građevine“;
- Proračuni kapitala i prihoda sukobljavaju se s obzirom na organizaciju i vremenske okvire, što dovodi do nabave na temelju najnižih početnih troškova;
- Naglasak na financijskim povratima umjesto na širem socijalno-ekonomskom dobitku;
- Nedostatak kompetencije u provođenju i tumačenju analiza troškova;
- Izazov prikupljanja podataka;
- Fluktuacije u cijeni roba i električne energije prilikom izrade kalkulacije za pogone zgrada i razvoj infrastrukture;
- Metodologije izračuna troškova životnog ciklusa javnih naručitelja;
- Odgovornost za provođenje analize troškova životnog ciklusa kod naručitelja; te
- Strategija izrade natječaja s obveznim tehničkim zahtjevom za provođenje analize troškova životnog ciklusa.

Pri procjenjivanju najboljeg omjera između cijene i kvalitete, javni naručitelji bi trebali odrediti ekonomske i kvalitativne kriterije povezane s predmetom ugovora koje će koristiti za tu namjenu. Primjenom tih kriterija trebala bi biti moguća usporedna procjena razine uspješnosti svake ponude s obzirom na predmet ugovora, kako je utvrđeno u tehničkim specifikacijama. Javne naručitelje trebalo bi poticati da odaberu kriterije za dodjelu putem kojih će osigurati visokokvalitetne radove, robu ili usluge koje su najbolje prilagođene njihovim potrebama. Tim bi kriterijima trebala biti zajamčena mogućnost učinkovitog i poštenog nadmetanja te bi trebali biti popraćeni postupcima kojima se omogućuje učinkovita provjera informacija koje su pružili ponuditelji. Kako bi se osigurala ekonomski najpovoljnija ponuda, odluka o dodjeli ugovora ne bi se trebala temeljiti isključivo na kriterijima koji nisu vezani uz troškove. Kriteriji kvalitete trebali bi stoga biti popraćeni kriterijem troška koji bi, ovisno o izboru javnog naručitelja, mogao biti cijena ili mogao biti utemeljen na pristupu isplativosti, poput troškova životnog vijeka. Međutim, kriteriji za dodjelu ne bi trebali utjecati na primjenu nacionalnih odredaba kojima se utvrđuje naknada za određene usluge ili u kojima su određene fiksne cijene za određenu robu.

2.3. Postojeći modeli procjene troškova životnog ciklusa

Analiza troškova životnog ciklusa je prognoza budućnosti, što podrazumijeva primjenu različitih metoda na procjenu različitih troškova (Korpi i Ala-Risku, 2008.). Korištenje različitih metoda procjene troškova, između ostalog, ovisi o dostupnosti podataka i fazi u kojoj je napravljen izračun troškova (Fabrycky i Blanchard, 1991.). U radu su autori (Fabrycky i Blanchard, 1991.) naveli tri različita načina procjene troškova:

1. procjena inženjerskim postupcima;
2. analogna procjena; i
3. parametarska metoda procjene.

Autori Estes i Frangopol (2001.) predložili su probabilistički okvir za optimizaciju vremena i vrstu održavanja tijekom očekivanog korisnog vijeka trajanja sustava koji propada. Model troškova životnog ciklusa u ovom slučaju može se definirati kao matematički prikaz budućih novčanih tokova povezanih s troškovima životnog ciklusa dane građevine. Ovi modeli mogu biti vrlo

složeni, ali svi uglavnom sadrže detaljnu klasifikaciju elemenata ili dijelova koji čine cijelu građevinu, prikazanu tablično za svaku godinu projekta. Ravnoteža troškova različitih životnih faza građevine ili nekog dijela omogućuje optimizaciju ukupnih troškova, tako da trošak gradnje ima pozitivan i racionalan učinak na buduće operativne troškove (Kamyk i Śliwiński, 2016.). Pravilno provedena analiza trebala bi uključivati troškove različitih faza životnog ciklusa. Cilj analize troškova životnog ciklusa je odabir proizvoda s optimiziranim troškovima nabave, odnosno gradnje i uporabe tj. održavanja. Rezultat analize je ukupna cijena proizvoda, a omogućuje budućem korisniku da izbjegne nepotrebne izdatke. Metoda izračuna troškova životnog ciklusa je metoda ekonomske analize za sve troškove vezane uz proizvode i usluge, tj. u ovom radu građevine tijekom cijelog životnog ciklusa. Kako je prethodno navedeno, u obzir se uzimaju troškovi investicije, uporaba, troškovi održavanja građevine i rušenja odnosno uklanjanja. Metodologiju za izračun troškova životnog ciklusa s uključenim utjecajem na okoliš koju je moguće primjenjivati paralelno s procjenom životnog ciklusa razvilo je Društvo za toksikologiju i kemiju okoliša (engl. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC*) radne grupe pod nazivom „*Environmental LCC*“ (Duyan i Ciroth, 2013.). Potnik Galić i Budić (2013.) definirali su sljedeće korake u provedbi analize troškova životnog ciklusa proizvoda koji se mogu primijeniti i na analizu troškova životnog ciklusa građevina:

- definiranje problema i cilja analize;
- definiranje pravila, ograničenja i kriterija;
- definiranje zahtjeva sustava i politike održavanja;
- vremensko utvrđivanje aktivnosti;
- procjena troškova (troškovi proizvođača i troškovi korisnika);
- raščlanjivanje troškova i izrada (prilagodba) modela troškova i projektnih varijanti;
- vremensko utvrđivanje aktivnosti;
- diskontiranje budućih troškova građevine;
- određivanje ukupnih troškova životnog ciklusa;
- analiza rezultata i ocjena rješenja – projektnih varijanti;
- procjena osjetljivosti modela na ulazne podatke;
- preporuka projektne varijante;
- korištenje povratnim informacijama i kontrolom za neprestano unapređenje sustava.

2.3.1. Teorijske postavke izračuna troškova životnog ciklusa

Jednadžba analize troškova životnog ciklusa može se razložiti u sljedeće tri varijable – pripadajuće troškove vlasništva odnosno investicije, razdoblje tijekom kojega su nastali ti troškovi i diskontna stopa koja se primjenjuje na buduće troškove, kako bi ih izjednačila s današnjim troškovima (Mearig i dr., 1999.). Prva varijabla jednadžbe (trošak) dijeli se u dvije glavne kategorije po kojima se analiziraju i procjenjuju projekti. To su početni troškovi i budući troškovi. Početni troškovi su svi troškovi nastali prije početka uporabe građevine, a nakon izgradnje i ishođenja svih dozvola. Budući troškovi su svi troškovi nastali tijekom uporabe građevine. Kako bi se početni troškovi mogli precizno kombinirati s budućim troškovima, ponajprije se mora odrediti sadašnja vrijednost svih troškova. Fuller i Petersen (1996.) definiraju sadašnju vrijednost kao „vremenski jednaku vrijednost prošlih, sadašnjih ili budućih novčanih tokova od početka bazne godine“. Izračun sadašnje vrijednosti koristi diskontnu stopu i vrijeme kada je trošak nastao ili će nastati, kako bi se utvrdila sadašnja vrijednost troška u osnovnoj godini analitičkog razdoblja. Izračun sadašnje vrijednosti omogućava zbrajanje početnih i budućih troškova s kalkulacijom sadašnje vrijednosti budućih novčanih tokova uz tzv. trošak kapitala (ili minimalne tražene stope povrata) kao diskontne stope (Arshad, 2012.). Uz vrijeme, diskontna stopa također diktira sadašnju vrijednost budućih troškova. Budući troškovi mogu se podijeliti u dvije kategorije: jednokratni troškovi i ponavljajući troškovi. Ponavljajući troškovi su troškovi koji se javljaju svake godine tijekom razdoblja analize. Većina operativnih troškova i troškovi održavanja su ponavljajući troškovi. Jednokratni troškovi su troškovi koji se ne pojavljuju tijekom cijele godine u analitičkom razdoblju. Većina troškova zamjene dijelova građevine jednokratni su troškovi.

Kako se gradnja odvija u relativno kratkom vremenu razdoblju u odnosu na vrijeme analize troškova, smatra se da se početni troškovi, odnosno troškovi investicije pojavljuju tijekom bazne godine razdoblja analize. Nema potrebe kalkilirati sadašnju vrijednost početnih troškova investicije, jer njihova je sadašnja vrijednost jednaka stvarnom trošku. Određivanje sadašnje vrijednosti budućih troškova vremenski je ovisno. Razdoblje je razlika između vremena u kojemu su se dogodili početni troškovi i vremena u kojemu se predviđa nastanak budućih troškova. Izrazito je važno izraziti vrijeme kao zajednički vremenski okvir svih projektnih

alternativa, unutar kojega će se računati početni i budući troškovi. Duljina razdoblja analize mora biti dovoljno duga, kako bi se ukupnim troškovima obuhvatila barem jedna značajnija rekonstrukcija građevine za svaku projektnu alternativu koja se analizira (U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset Management), 2002.). Još uvijek nedostaje baza podataka s informacijama o stvarnim vremenima korištenja građevina i njenih dijelova (Anderson i Brandt, 1999; Hermans, 1999.). Vrijeme u kojemu se analiziraju troškovi trebalo bi biti manje od fizičkog, funkcionalnog i ekonomskog životnog ciklusa građevine (Ashworth i Perera, 2015.). Za provjeru odabira životnih ciklusa analiziranih građevina ili dijelova građevina, kao koristan alat može se koristiti analiza osjetljivosti. Postoje indicije da vlasnici i korisnici građevina i dalje ne znaju koliki je životni vijek građevine, niti koliki je očekivani životni ciklus prije potrebne rekonstrukcije. Po definiciji, ekonomski život je najvažniji s gledišta optimizacije troškova, kao što su istaknuli Kirk i Dell'Isola (1995.). Drugi istraživači, primjerice Hermans (1999.) preporučuju da se tehnološki vijek i korisni vijek građevine mora razmatrati kada se procijeni ekonomski životni ciklus. Općenito postoji suglasnost oko predviđanja životnog ciklusa. Nikako se ne preporuča pretpostaviti isti na predugo razdoblje. Što je dalje predviđanje i pogled na budućnost, veći je rizik da se pretpostavke koje se danas koriste neće primjenjivati. Osim toga, novčani tokovi diskontirani dugoročnim horizontom vjerojatno neće imati značajan utjecaj na rang projektnih alternativa (Flanagan i dr., 1989.).

Za unos u izračun troškova životnog ciklusa budući troškovi se pretvaraju u njihovu trenutnu vrijednost korištenjem odgovarajuće diskontne stope. Odabire se razdoblje analize i primjenjuje se odgovarajuća metoda ekonomske procjene. Literatura pokazuje više varijacija metoda ekonomske procjene za analizu troškova životnog ciklusa. Sve varijacije imaju svoje prednosti i nedostatke. Metode su oblikovane za različite načine korištenja, a korisnik metoda mora biti svjestan ograničenja svake od njih. Pregled literature strukturiran je u tablici 1, a preuzet je iz rada autora Levander i dr. (2017.). Tablica prikazuje šest najznačajnijih metoda ekonomske evaluacije troškova životnog ciklusa, njihove prednosti i nedostatke te svrha za koju se koriste. Literatura pokazuje da je najprikladniji pristup za izračun troškova na području građevinarstva metoda neto sadašnje vrijednosti (engl. *Net Present Value* – NPV).

Tablica 1 Prednosti i nedostaci evaluacijskih metoda za izračun troškova (oblikovao autor prema Levander i dr. (2017.))

METODA	IZRAČUN	PREDNOST	NEDOSTATAK	UPORABA
<i>Razdoblje povrata investicije</i>	Izračun daje vrijeme potrebno za vraćanje početne investicije, optimalna je projektna varijanta s najkraćim razdobljem (Flanagan i dr., 1989.)	Brza i jednostavna kalkulacija, rezultati su jednostavni za interpretaciju (Flanagan i dr., 1989.)	Ne uzima u obzir inflaciju, kamatu niti tok novca (Flanagan i dr., 1989; Öberg, 2005.)	Koristi se za grubu procjenu profitabilnosti investicije (Flanagan i dr., 1989.)
<i>Diskontirano razdoblje povrata investicije (engl. Discount Payback Method – DPP)</i>	Izračun daje vrijeme potrebno za vraćanje početne investicije uz vremensku vrijednost (Flanagan i dr., 1989.)	U obzir je uzeta i vremenska vrijednost novca (Flanagan i dr., 1989.)	Zanemaruje tok novca van razdoblja povrata (Flanagan i dr., 1989.)	Treba se koristiti samo kao smjernica, ne kao alat za potporu u procesu donošenja odluka (Flanagan i dr., 1989.)
<i>Neto sadašnja vrijednost (NPV)</i>	Neto sadašnja vrijednost je rezultat primjene diskontnih faktora, temeljenih na potrebnoj stopi povrata na godišnji projicirani novčani tok, tako da se novčani tokovi diskontiraju na sadašnju vrijednost. Ukoliko je sadašnja vrijednost pozitivna, investicija je isplativa (Law i Smullen, 2005.). Uobičajena je praksa da se trošak smatra kao pozitivna a prihod kao negativna vrijednost, budući da je fokus analize troškova na trošku, a ne na dohotku. Optimalna projektna alternativa je ona s minimalnom sadašnjom vrijednosti (Kishk i dr., 2003.)	U obzir je uzeta i vremenska vrijednost novca. Metoda generira povrat jednak tržišnoj kamatnoj stopi, i mogu se ukalkulirati svi dostupni podaci (Flanagan i dr., 1989.)	Ne može se upotrijebiti ukoliko projektne alternative imaju različitu duljinu životnog ciklusa, komplicirana za interpretaciju (Kishk i dr., 2003.)	Najčešće korištena metoda u izračunu troškova (Kishk i dr., 2003.)
<i>Ekvivalentni jedinstveni godišnji trošak (engl. Equivalent Uniform Annual Cost analysis – EUAC)</i>	Metoda prikazuje neto sadašnju vrijednost projektne alternative kao jednoznačni ekvivalentni godišnji trošak, s uračunatim faktorom sadašnje vrijednosti (Kishk i dr., 2003.)	Usporedba različitih projektnih alternativa s različitom duljinom trajanja životnog ciklusa (BSI The International Organization for Standardization, 2004.)	Izračun daje prosječan broj, a ne indikaciju stvarnog troška tijekom svake godine životnog ciklusa (BSI The International Organization for Standardization, 2004.)	Može se upotrijebiti kao usporeda projektnih alternativa s različitim trajanjem životnog ciklusa (BSI The International Organization for Standardization, 2004.)
<i>Unutarnja stopa povrata (engl. Internal Rate of Return – IRR)</i>	Unutarnja stopa povrata je diskontirani novčani tok koji određuje prosječnu stopu povrata s uvjetom da se vrijednosti svedu na nulu u početnom vremenu (Moles i Terry, 1997. citirani u Levander i dr., 2017.). Moguće je izračunati ispitnu diskontnu stopu koja će generirati neto sadašnju vrijednost kao nulu. Optimalna projektna varijanta je ona s najvišom stopom povrata (BSI The International Organization for Standardization, 2004.)	Rezultati su prikazani u postotku što predstavlja jednostavnu interpretaciju (Flanagan i dr., 1989.)	Postupak izračuna je iterativan, zahtijeva proceduru pokušaja i pogreške. Unutarnja stopa povrata može se izračunati jedino ako će investicija ostvariti prihod (Flanagan i dr., 1989.)	Može se upotrijebiti ako investicija generira prihod, što nije uvijek slučaj u području građevinarstva (Kishk i dr., 2003.)
<i>Neto ušteda (engl. Net Saving – NS)</i>	Neto ušteda je razlika između sadašnje vrijednosti prihoda investicije i investiranog iznosa, optimalna projektna alternativa je ona sa najvišom neto uštedom (Kishk i dr., 2003.)	Jednostavna metoda procjene investicije (Kishk i dr., 2003.)	Metoda neto uštede može se koristiti jedino ako investicija ostvaruje prihod (Kishk i dr., 2003.)	Može se upotrijebiti kao usporedba prilika za investiranje (BSI The International Organization for Standardization, 2004.), ali jedino ako investicija generira prihod (Kishk i dr., 2003.)

Ciklusi zamjene dijelova građevine za koje se očekuje da će trajati manje od životnog vijeka cijele građevine vrlo su osjetljivi za predviđanje i izračun troškova životnog ciklusa. Pouzdano predviđanje budućih zamjena da bi se održala funkcionalnost građevine, smanjit će mogućnost i troškove prekida poslovanja ili poslovnih procesa koji se obavljaju (ili su podržani) građevinom ili zbog neočekivanog kvara (Clift, 2003.). Postignuti napredak u području višekriterijalnih genetičkih algoritama (Deb, 2001.) osigurao je put za rješavanje višekriterijalnih optimizacijskih problema glede neophodnog i preventivnog održavanja. Problemi višekriterijalne optimizacije formulirani su i riješeni na način da su tražene karakteristike pretpostavljene kao ciljevi poboljšanja (Neves i dr., 2006.; Frangopol i Liu, 2007.).

Jedan od budućih troškova koji se trebaju uračunati u analizu troškova životnog ciklusa je terminalna vrijednost projektne varijante (U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset Management), 2002.) ili ostatak vrijednosti (engl. *residual value*). Terminalna vrijednost je neto vrijednost građevine, odnosno projektne alternative na kraju razdoblja u kojemu se radi analiza troškova (Mearig i dr., 1999.). Jedna vrsta terminalne vrijednosti naziva se „vrijednost za spašavanje“ (engl. *salvage value*), koja predstavlja neto vrijednost dobivenu recikliranjem materijala na kraju životnog ciklusa projekta. Druga vrsta terminalne vrijednosti je „ostatak životnog vijeka uporabe“ (engl. *Remaining Service Life* - RSL) projektne alternative, s obzirom da se preostala vrijednost životnog vijeka proteže i nakon kraja razdoblja analize. Za razliku od ostalih budućih troškova, terminalna vrijednost može biti pozitivna ili negativna, tj. može se uračunati kao trošak ili vrijednost. Budući da su troškovi životnog ciklusa zbroj svih troškova, negativna rezidualna vrijednost ukazuje na vrijednost povezanu s građevinom na kraju razdoblja analize, kao na primjer zgrada koja može trajati još trideset godina nakon kraja razdoblja analize. Pozitivna rezidualna vrijednost ukazuje na troškove zbrinjavanja povezane s građevinom na kraju analitičkog razdoblja, primjerice trošak rušenja građevine. Nulta rezidualna vrijednost ukazuje na to da nema vrijednosti ili troškova vezanih uz građevinu na kraju razdoblja analize. Ova rijetka pojava nastaje ako namjeravana uporaba građevine istječe istodobno kada i razdoblje analize, građevina se ne može prodati, a vlasnik je u mogućnosti napustiti je bez ikakvih troškova. Neispravno uračunata terminalna

vrijednost projektne alternative može rezultirati ekonomskom pristranosti prema određenoj alternativi.

Druga varijabla jednadžbe analize troškova životnog ciklusa je vrijeme. Razdoblje analize troškova je vrijeme unutar kojega će se vrednovati troškovi vlasništva i uporabe građevine. Razdoblje analize može se kretati od dvadeset do četrdeset godina, ovisno o zahtjevima dionika, stabilnosti korisničkih programa i cjelokupnom životnom vijeku analizirane građevine. Dok je duljina razdoblja proučavanja često odraz predviđenog trajanja građevine, razdoblje analize je uglavnom kraće od životnog vijeka građevine. Mearig i dr. (1999.) analitičko razdoblje razdvajaju na dvije faze: razdoblje planiranja/izgradnje i razdoblje uporabe građevine. Razdoblje planiranja/izgradnje je vrijeme od početka analize do početka uporabe građevine. Razdoblje uporabe je vrijeme od početka uporabe građevine do kraja razdoblja analize.

Treća varijabla jednadžbe modela troškova životnog ciklusa je diskontna stopa. Prirodni problem u bilo kojoj vrsti evaluacije ili analize odluka je poteškoća u usporedbi vrijednosti među projektima koji se ne mjere u jednakim jedinicama. Čak i kada su vrijednosti navedene u novčanim jedinicama, vrijednosti i dalje ne mogu biti usporediv iz najmanje dva razloga (U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset Management), 2002.):

- Inflacija – kada se rashodi javljaju na različitim točkama u prošlosti ili budućnosti i stoga se mjere u različitim vrijednostima zbog promjena u cijeni. Opći trend prema višim cijenama tijekom vremena (mjereno u novčanim jedinicama) zove se inflacija, dok je opći trend prema nižim cijenama deflacija. Novčane jedinice koje uključuju učinke inflacije ili deflacije tijekom vremena definirane su kao nominalne odnosno jedinice tekuće ili podatkovne godine. Jedinice koje ne uključuju komponentu inflacije ili deflacije (tj. s kojima kupovna moć ostaje nepromijenjena) nazivaju se stalne ili jedinice bazne godine.
- Diskontiranje – prilagođavanje vremenske vrijednosti. Troškovi ili koristi (u stalnim novčanim jedinicama) koji se javljaju na različitim točkama u vremenu, ne mogu se usporediti bez uzimanja u obzir moguće vrijednosti vremena. Vrijednost vremena koja

se odnosi na tekuće i buduće resurse može se shvatiti u smislu ekonomskog povratka koji bi se mogao zaraditi na novčanim sredstvima u sljedećoj najboljoj alternativnoj uporabi ili naknadu koja se mora platiti da potakne ljude da odgode dodatni iznos potrošnje tekuće godine do kasnije godine.

2.3.2. Diskontiranje troškova

Jedna od kritičnih varijabli izračuna troškova životnog ciklusa je diskontna stopa (sastavljena od vremenske vrijednosti novca i učinaka inflacije) koja značajno utječe na rezultat kalkulacije. Odabir diskontne stope koja je previsoka dat će privid ispravne odluke u korist kratkoročnih opcija niskih kapitalnih troškova investicije, dok preniska diskontna stopa daje privid budućih ušteda u troškovima. Budući da je točnost odabira određene diskontne stope neizvjesna, rezultat izračuna troškova životnog ciklusa uvijek se može ispitati. Unatoč ovome problemu postoje mogućnosti smanjivanja neizvjesnosti u rezultatima obavljanjem analiza osjetljivosti, gdje se parametri koji su od važnosti za rezultat mogu mijenjati. Diskontna stopa može se utvrditi kao najviša kamata koju organizacija treba platiti kako bi mogla posuditi novac potreban za projekt. Ovu metodu favoriziraju autori Hoar i Norman (1977.), jer ukazuje na tržišnu vrijednost novca. Međutim, metoda ne uzima u obzir rizik od gubitka vrijednosti povezan sa zajmom (Flanagan i dr., 1989). U pristupu oportune rate povrata diskontna stopa definirana je kao stopa povrata koja bi se mogla zaraditi od najbolje alternativne uporabe sredstava posvećenih projektu koji se razmatra. S obzirom da se bazira na stvarnoj vrijednosti zarade, to je najrealnija opcije (Kelly i Male, 2005.). Međutim, takav oportuni trošak može biti nejasan, jer je često nemoguće identificirati najbolju alternativnu uporabu (Finch, 1994.).

Fuller i Petersen (1996.) diskontne stope razdvajaju u dvije vrste: stvarne diskontne stope i nominalne diskontne stope. Razlika između ta dva pojma je stopa inflacije, koju realna diskontna stopa isključuje, dok je u nominalnoj diskontnoj stopi uključena. Navedeno ne znači da se realne diskontne stope ne kalkuliраju s inflacijom, već da njihova uporaba jednostavno uklanja kompleksnost vođenja inflacije unutar jednadžbe neto sadašnje vrijednosti (NPV).

Korištenje obje diskontne stope s njihovim odgovarajućim faktorima u izračunu sadašnje vrijednosti donosi isti rezultat.

Analitički, usklađivanje s inflacijom i diskontiranjem potpuno su odvojeni problemi. Budući troškovi i koristi projekta trebali bi biti izraženi u stalnim novčanim jedinicama, a zatim diskontirani na sadašnjost uz diskontnu stopu koja odražava vrijednost vremena (poznata kao realna diskontna stopa). Ako budući troškovi i koristi od projekta budu osigurani u nominalnim novčanim jedinicama, pretvorba tih nominalnih jedinica do stalnih može se ostvariti korištenjem odgovarajućih indeksa kako slijedi (U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset Management), 2002.):

$$Novčane\ jedinice_{bazna\ godina} = Novčane\ jedinice_{tekuća\ godina} * \frac{Indeks\ cijene_{bazna\ godina}}{Indeks\ cijene_{tekuća\ godina}} \quad (1)$$

Realne diskontne stope koje se koriste u analizi troškova životnog ciklusa kreću se od 3 do 5 posto, što predstavlja prevladavajuću kamatnu stopu na posuđena sredstva, umanjenu za inflaciju. Prema (BSI The International Organization for Standardization, 2004.) opća stopa produktivnosti dugoročno iznosi od 0-2%, zbog čega se preporučuje uzimati upravo te vrijednosti kao realne diskontne stope. Budući da uvijek postoji vrijednost vremena, realne diskontne stope će uvijek premašiti nulu. Korištenjem realne diskontne stope, sljedeće transformacije mogu biti izvedene kako bi se olakšala usporedba stalnih troškova novčanih jedinica (Levander i dr., 2017.):

- Premještanje u vremenu. Jedan iznos može se pretvoriti u ekvivalentnu vrijednost unatrag ili naprijed u vremenu, bez mijenjanja njegove stvarne vrijednosti, tj. njegove sadašnje vrijednosti.
- Godišnji trošak. Skupna suma može se pretvoriti u ekvivalentni višegodišnji tok (primjerice kapitalni trošak).
- Sadašnja vrijednost. Bilo koja kombinacija tokova (konačnih ili beskonačnih) i paušalnih iznosa može se zbrojiti u jednu vrijednost u jednoj točki u vremenu.

Stvarna diskontna stopa može se izračunati iz nominalne diskontne stope prema sljedećoj formuli (Fuller i Petersen, 1996; BSI The International Organization for Standardization, 2004. citirano u Krstić, 2011.):

$$d = \frac{1+D}{1+I} - 1 \quad (2)$$

Gdje je:

- d = stvarna diskontna stopa,
- D = nominalna diskontna stopa,
- I = inflacija.

Smanjenje diskontne stope kod dugoročnih projekata prijedlog je više autora (HM Treasury, 2003; Keoleian i dr., 2005.). S obzirom na veliku neizvjesnost koja se povećava s produljenjem vremena projekta, predlaže se smanjenje diskontne stope u ovisnosti o duljini trajanja projekta. U tablici 2 je prikazana Weitzmanova klizna skala diskontnih stopa, rezultat istraživanja nekoliko tisuća znanstvenika.

Tablica 2 Weitzmanova klizna skala diskontnih stopa (Keoleian i dr., 2005.)

Razdoblje	Raspon godina	Diskontna stopa
Neposredna budućnost	1-5	4%
Bliska budućnost	6-25	3%
Dalja budućnost	26-75	2%

Europska komisija na temelju Priopćenja Komisije o reviziji načina određivanja referentnih i diskontnih stopa (European Comission, 2008.) utvrđuje i objavljuje, za svaku državu članicu Europsku unije, osnovnu stopu koja se koristi za izračun referentne kamatne i diskontne stope. Na temelju navedenog priopćenja Vlada Republike Hrvatske iste godine donosi Odluku o objavljivanju pravila o utvrđivanju referentne i diskontne stope (Vlada Republike Hrvatske, 2008.), u kojoj se predlaže nova metodologija utvrđivanja referentne i diskontne stope koja, uz

ostalo, osigurava jednak tretman u državama članicama, uz minimalna odstupanja od trenutne prakse i tako olakšava primjenu referentnih stopa za nove države članice. U tablici 3 prikazane su referentne i diskontne stope od siječnja 2008. – prosinca 2018. godine. Podaci do 2013. godine preuzeti su sa stranica Agencije za zaštitu tržišnog natjecanja (2008.). Od srpnja 2013. godine, kada je Republika Hrvatska postala punopravna članica Europske unije, sukladno praksi Europske komisije, osnovnu referentnu stopu za sve države članice izračunava i na svojim mrežnim stranicama objavljuje Opća uprava za tržišno natjecanje Europske komisije (European Commission, 2013.).

Tablica 3 Osnovne referentne i diskontne stope u RH

Razdoblje	Osnovna referentna stopa	Diskontna stopa
1.1.-30.9.2008.	6.01%	7.01%
1.10.-31.12.2008.	5.55%	6.55%
1.1.-28.2.2009.	6.54%	7.54%
1.3.-31.12.2009.	7.63%	8.63%
1.1.-31.3.2010.	7.33%	8.33%
1.4.-31.5.2010.	5.46%	6.46%
1.6.-31.12.2010.	3.79%	4.79%
1.1.-30.6.2011.	4.10%	5.10%
1.7.-31.12.2011.	3.47%	4.47%
1.1.-31.8.2012.	4.74%	5.74%
1.9.-31.12.2012.	3.58%	4.58%
1.1.-30.6.2013.	3.26%	4.26%
1.7.-31.12.2013.	2.49%	3.49%
1.1.-28.2.2014.	2.35%	3.35%
1.3.-30.4.2014.	1.83%	2.83%
1.5.-31.12.2014.	1.54%	2.54%
1.1.-31.12.2015.	1.58%	2.58%
1.1.-31.3.2016.	1.92%	2.92%
1.4.-31.5.2016.	1.50%	2.50%
1.6.-31.12.2016.	1.18%	2.18%
1.1.-31.3.2017.	1.05%	2.05%
1.4.-30.4.2017.	0.83%	1.83%
1.5.-31.7.2017.	0.70%	1.70%
1.8.-31.12.2017.	0.59%	1.59%
1.1.-31.3.2018.	0.54%	1.54%
1.4.-31.5.2018.	0.40%	1.40%
1.6.-31.12.2018.	0.30%	1.30%

Za provođenje analize troškova životnog ciklusa troškovi nastali u različitim vremenima moraju biti pretvoreni u njihovu vrijednost u zajedničkoj točki vremena. Dostupne su različite tehnike zasnovane na principu diskontne stope. FHWA (2002.) preporučuje pristup određivanja neto sadašnje vrijednosti (NPV), ali se može koristiti i ekvivalentni jedinstveni godišnji trošak (engl. *Equivalent Uniform Annual Cost analysis* – EUAC). Usredotočujući se na određene željene ishode metode izračuna troškova životnog ciklusa te istraživanjem unatrag prema relativnoj važnosti svake od varijabli građevine korištenoj u metodi, može se pružiti detaljniji uvid u navedenu problematiku.

Na temelju definicije i metodologije troškova životnog ciklusa, najočitiji pristup odlučivanju je da se izbor cjelokupnih životnih troškova temelji na neto sadašnjoj vrijednosti (NPV) raznih projektnih alternativa. Neto sadašnja vrijednosti alternative i , NPV_i , definira se kao ukupna suma resursa koje treba uložiti danas, kako bi se zadovoljili svi budući financijski zahtjevi koji nastaju tijekom trajanja projekta. Najpovoljnija projektna alternativa, A^* je ona od koje proizlazi minimalni NPV. Budući da se analiza troškova životnog ciklusa usredotočuje na cijenu koštanja i troškove a ne na prihod, uobičajena je praksa da se troškovi tretiraju kao pozitivne vrijednosti, a prihodi kao negativne vrijednosti. Matematički, neto sadašnja vrijednost građevine izražava se kao (Kishk i dr., 2003.):

$$NPV_i = C_{0i} + \sum_{t=1}^T {}^dO_{it} + \sum_{t=1}^T {}^dM_{it} - {}^dSAV_i \quad (3)$$

gdje su:

- C_{0i} = početni troškovi investicije projektne alternative i ,
- $\sum_{t=1}^T {}^dO_{it}$ = suma diskontiranih troškova uporabe u vremenu t ,
- $\sum_{t=1}^T {}^dM_{it}$ = suma diskontiranih troškova održavanja u vremenu t ,
- dSAV_i = diskontirana terminalna vrijednost (vrijednost za spašavanje), čija vrijednost se računa kao:

$${}^dSAV_i = {}^dRV_{iT} - {}^dDC_{iT} \quad (4)$$

gdje je:

${}^dRV_{iT}$ = diskontirana ostala vrijednost na kraju razdoblja analize,

${}^dDC_{iT}$ = diskontirani troškovi uklanjanja,

T = razdoblje analize izraženo u godinama.

Za određivanje sadašnje vrijednosti budućih jednokratnih troškova koristi se sljedeća formula (Mearig i dr., 1999.):

$$PV = A_t * \frac{1}{(1+d)^t} \quad (5)$$

gdje je:

PV = sadašnja vrijednost (engl. *Present Value* - PV)

A_t = vrijednost jednokratnih troškova u vremenu t

d = stvarna diskontna stopa

t = vrijeme (izraženo u broju godina)

Za određivanje sadašnje vrijednosti budućih ponavljajućih troškova koristi se sljedeća formula (Mearig i dr., 1999.):

$$PV = A_0 * \frac{(1+d)^t - 1}{d * (1+d)^t} \quad (6)$$

gdje je:

PV = sadašnja vrijednost

A_0 = vrijednost ponavljajućih troškova

d = stvarna diskontna stopa

t = vrijeme (izraženo u broju godina)

Ekvivalentni jedinstveni godišnji trošak (EUAC) je metoda analize koja daje godišnje troškove projektnih alternativa kao da su se događale ravnomjerno tijekom cijeloga razdoblja analize (U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset

Management), 2002.). Sadašnja vrijednost (PV) ovog tijeka jedinstvenih godišnjih troškova je isti kao PV stvarnog troška. EUAC je drugi način gledanja rezultata analize troškova životnog ciklusa. Jedinstvena metoda godišnjeg troška koristi se za pretvaranje sadašnjih ili budućih troškova u jednake godišnje troškove i izražava se kao (Rahman i Vanier, 2004.):

$$A = PV \left[\frac{d(1+d)^t}{(1+d)^t - 1} \right] \quad (7)$$

gdje je:

A = vrijednost troškova na kraju godine

PV = sadašnja vrijednost iz formule $PV = A_t * \frac{1}{(1+d)^t}$

(5)

d = diskontna stopa

t = vrijeme (izraženo u broju godina) od početka analize do kraja razdoblja

Bilo da se koristi PV ili EUAC, odluka koju podupire analiza bit će ista. Odluku o korištenju EUAC ili PV metode donosi analitičar koji provodi metodu. Ukoliko su donositelji odluka navikli za korištenje godišnjih troškova, EUAC može biti korisniji obrazac za pregled i izvještaj o rezultatima analize. Zbog toga što u rezultatima prikazuje godišnje iznose, EUAC ne može naglasiti ukupnu veličinu razlike između projektnih alternativa kao i PV, te može prikazati umjetnu ravnomjernost u troškovima. Međutim, EUAC može upoznati donositelje odluka s troškovima i njihovim utjecajem po godinama tijekom razdoblja analize, ukoliko se radi o projektu kojemu se financiranje zadaje na godišnjoj razini, ili je ovisno o investicijskim fondovima.

2.3.3. Neizvjesnost i odabir ulaznih parametara modela

Analiza troškova životnog ciklusa različitih projektnih varijanti ne zahtijeva uključivanje svih troškova povezanih sa svakom alternativom, ukoliko projektne varijante završno slijede isti cilj i ispunjavanju jednake projektne zahtjeve. Potrebno je istražiti samo one troškove koji pokazuju razlike između navedenih alternativa (U.S. Department of Transportation (Federal Highway

Administration - Office of Asset Management), 2002.). Navedena pretpostavka je vrlo važna, jer može znatno pojednostaviti analitičke i podatkovne zahtjeve. U slučaju troškova investitora to znači da primjerice treba uključiti aktivnosti obnove i rekonstrukcije, ali se troškovi zajednički svim alternativama mogu ukloniti iz analize.

Postoje dva pristupa pripremi analize troškova životnog ciklusa: deterministički i probabilistički pristup (U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset Management), 2002.). Pristupi se razlikuju načinom na koji obrađuju varijabilnost i neizvjesnost povezanu s ulaznim parametrima analize, kao što su troškovi definiranih aktivnosti, vrijeme aktivnosti i diskontna stopa. Deterministički pristup svaka ulaznoj varijabli analize dodjeljuje fiksnu odnosno diskretnu vrijednost. Osoba koja provodi analizu određuje vrijednost koja se najvjerojatnije ostvaruje za svaki ulazni parametar. Navedeno određivanje obično se temelji na prethodnim dobivenim podacima ili profesionalnoj prosudbi i iskustvu. Prema zadanim ulaznim vrijednostima izračunavaju se pojedinačne procjene troškova. Tradicionalno je primjena analize troškova životnog ciklusa korištena sa determinističkim pristupom. Deterministički izračun je jednostavan i može se provesti ručno pomoću kalkulatora ili automatski s proračunskom tablicom. Međutim, pristup ima nedostatak, što ne uspijeva prikazati stupanj neizvjesnosti povezan s procjenom sadašnje vrijednosti. Rezultati determinističke analize mogu se dodatno potvrditi pomoću analize osjetljivosti. Ova metoda uključuje promjenu jednog značajnijeg ulaznog parametra, kao što je diskontna stopa ili početni trošak, u niz mogućih vrijednosti s izlaznom procjenom PV (izlazna vrijednost analize). Svi ostali ulazni parametri su konstantni. Svaki rezultat PV odražavat će učinak na promijenjeni ulazni parametar. Na taj način se ulazne varijable mogu rangirati u skladu s njihovim utjecajem na zaključni rezultat. Ove informacije važne su donositeljima odluka koji žele razumjeti varijabilnost povezanu s projektnim alternativama. Također omogućuje identifikaciju faktora ulaznih parametara ili ekonomskih uvjeta koji osiguravaju posebnu pozornost u pogledu postupaka procjene. Deterministička analiza osjetljivosti nije prikladna za mjerenje utjecaja istodobne promjene nekoliko ulaznih parametara na određeni rezultat analize troškova životnog ciklusa. Osim toga, ne daje nikakve informacije o vjerojatnosti da će se odabrana ulazna varijabla zapravo i pojaviti. Stoga, iako se determinističkim pristupom prikazuje znatno veća razina informacija o ekonomskoj

prihvatljivosti projekta od samog početnog troška, metoda ne daje donositeljima odluka cjelokupnu sliku očekivanih sadašnjih vrijednosti projektnih alternativa.

Dok se determinističkim pristupom analizi troškova životnog ciklusa pojedinačnim parametrima dodjeljuju diskretne vrijednosti, probabilistički pristup omogućuje definiranje vrijednosti ulaznih parametara distribucijom frekvencije odnosno vjerojatnosti. Za određenu projektnu alternativu identificiraju se neizvjesni ulazni parametri. Zatim se za svaki neizvjestan parametar razvije raspodjela mogućih vrijednosti. Simulacijsko programiranje nasumično izvlači vrijednosti iz probabilističkog opisa svake ulazne varijable i koristi ove vrijednosti za izračunavanje pojedinačne prognoze sadašnje vrijednosti projekta. Ovaj postupak ponavlja se kroz tisuće iteracija. Iz navedenog iterativnog procesa generira se cijela distribucija vjerojatnosti sadašnje vrijednosti za projektnu alternativu zajedno sa srednjom ili prosječnom sadašnjom vrijednosti za istu alternativu. Dobivena distribucija može se usporediti s projiciranom sadašnjom vrijednosti za projektne alternative, te se može utvrditi najisplativiji izbor za provedbu investicije za bilo koju zadanu razinu rizika. Probabilistička metoda uzima u obzir neizvjesnost i varijaciju u pojedinačnim ulaznim parametrima. Metoda također dopušta istodobno izračunavanje različitih pretpostavki za mnoge različite varijable. Prikazuje vjerojatnost ostvarivanja određene prognoze generirane iz analize troškova. Unatrag posljednja dva desetljeća probabilistička metoda analize troškova životnog ciklusa praktičnija je uslijed značajnih povećanja mogućnosti obrade podataka putem računala. Simulacija i kalkulacija istodobnih promjena ulaznih parametara sada se može lako i brzo postići.

U probabilističkom pristupu analizi rizika, pretpostavlja se da će sve neizvjesnosti pratiti karakteristike slučajne neizvjesnosti. Slučajni proces je onaj u kojemu su ishodi bilo koje pojedinačne realizacije procesa strogo stvar slučaja. Najznačajnije su za izračun troškova životnog ciklusa dvije tehnike temeljene na vjerojatnosti: (1) indeks pouzdanosti (engl. *Confidence Index – CI*); i (2) Monte Carlo tehnika simulacije.

1. Metoda izračuna s indeksom pouzdanosti

Metoda s izračunom indeksa pouzdanosti pojednostavljeni je probabilistički pristup.

Temelji se na dvije pretpostavke: nesigurnosti u svim troškovima obično se distribuiraju,

i visoke i niske procjene 90% za svaki trošak zaista odgovaraju stvarnim bodovima normalne raspodjele vjerojatnosti za taj trošak. Za dvije alternative A i B izračunat je indeks pouzdanosti, CI , i dodijeljena je razina pouzdanosti izračunu troškova prema vrijednosti CI na sljedeći način:

- Za $CI < 0,15$, treba dodijeliti nisku razinu pouzdanosti projektnoj alternativu (ekvivalent vjerojatnosti manjoj od 0,6);
- Za $0,15 < CI < 0,5$ treba dodijeliti srednju razinu pouzdanosti projektnoj alternativu (ekvivalent vjerojatnosti između 0,6 i 0,67);
- Za $CI > 0,5$ treba dodijeliti visoku razinu pouzdanosti projektnoj alternativu (ekvivalent vjerojatnosti iznad 0,67).

Navedeni pristup smatra se valjanim sve dok (Kirk i Dell'Isola, 1995.):

- Niska i visoka procjena 90% dobiva se iz istog izvora, kao i najbolje procjene, te se smatra da predstavlja znanje prosudbe, a ne nagađanja;
- Razlike između trenutne vrijednosti najbolje procjene svakog troška i trenutne vrijednosti od visoke i niske 90% procjene iznose oko 25%.

Potrebna pretpostavka normalno distribuiranih podataka i navedenih dvaju ograničenja predstavljaju nedostatke i ograničavaju općenitost pristupa izračuna indeksa pouzdanosti.

2. Monte Carlo simulacija

Monte Carlo simulacija je metoda ispitivanja problema za koje se ne mogu dobiti jedinstvena rješenja. Koristi se u modeliranju troškova mnogih autora (Flanagan i dr., 1987., 1989.; Ko i dr., 1998.; Goumas i dr., 1999.). U tipičnoj simulacijskoj vježbi neizvjesne varijable tretiraju se kao slučajne varijable, uobičajeno (ali ne nužno) ravnomjerno raspodijeljene. Unutar ovog probabilističkog okvira, varijable troškova (obično NPV) također postaju slučajne varijable. U posljednjoj fazi ocjenjivanja različite su projektne alternative rangirane po uzlaznoj veličini, a najbolja je alternativa odabrana prema najvećoj vjerojatnosti da bude prva. Kao što je navedeno u Flanagan i dr. (1989.),

donositelj odluke mora procijeniti implicitni kompromis između nižih očekivanih troškova jedne alternative i veći rizik da će taj trošak biti premašen iznosom koji je dovoljan da bi opravdao izbor alternative. Također je istaknuto da, iako metoda omogućuje donošenje odluka sa širom perspektivom u konačnom izboru između projektnih alternativa, to neće ukloniti potrebu da donositelj odluka primijeni prosudbu i neizbježno će postojati određeni stupanj subjektivnosti u odluci. Simulacijske tehnike također su kritizirane zbog njihove složenosti i koštanja u smislu vremena i stručnosti potrebnih za korištenje metode s potrebno razinom znanja (Byrne, 1997; Edwards i Bowen, 1998.).

Najosnovnija analiza rezultata dobivenih determinističkim pristupom je usporedba troškova sadašnje vrijednosti među projektnim alternativama. Deterministička analiza osjetljivosti korisna je u određivanju najvjerojatnijeg scenarija u kojemu će se odabrane vrijednosti ulaznih parametara najvjerojatnije pojaviti na temelju objektivnih podataka ili stručnog mišljenja. U najboljem slučaju, najpovoljnija projektna alternativa imat će najnižu sadašnju vrijednost u najvjerojatnijim „što-ako“ situacijama. Probabilističkim pristupom može se odrediti i izvještavati o cijelom nizu mogućih rezultata sadašnjih vrijednosti projektnih alternativa. Također se prikazuje procjena vjerojatnosti da će neki ishod zapravo pojaviti. Osoba koja provodi analizu u mogućnosti je prikazati rezultate na način da se temeljna neizvjesnost inherentna svakoj projektnoj alternativu odražava u izlaznim rezultatima analize. Ova metoda analize također pruža važne statističke podatke, koji uvelike pomažu donositelju odluka. Kao i kod determinističkog pristupa, vjerojatnost se može poboljšati uključivanjem analize osjetljivosti u postupak. Analiza osjetljivosti upućivat će na varijable najznačajnije u utjecaju na rezultate procjene troškova životnog ciklusa. Prilikom tumačenja rezultata vjerojatnosti analize, donositelji odluka moraju definirati maksimalnu razinu rizika prihvatljivu za određenu investiciju. Na primjer, donositelji odluka s niskom tolerancijom za rizik preferiraju manju varijabilnost u rezultatima, što može utjecati na njihov odabir između dvije ili više projektnih alternativa. U ovom slučaju donositelj odluke može odabrati alternativu s nešto višom sadašnjom vrijednosti, ali s mnogo manjim rizikom od prekoračenja zadanog budžeta ili predviđenih troškova. Prije finaliziranja odabira projektne alternative može se odrediti koliko je

koja od alternativa podložna prilagodbi ili izmjeni projekta. Mogu se uključiti tehničke ili projektne izmjene, redefinirati kriteriji ili zahtjevi ili primijeniti ustupke za smanjenje visokih ukupnih troškova investitora.

Analiza osjetljivosti je tehnika modeliranja koja se koristi za prepoznavanje utjecaja promjene vrijednosti jednog rizičnog neovisnog parametra na ovisnu varijablu. Metoda uključuje tri osnovna koraka (Jovanović, 1999.):

- Dodjeljivanje određenih vrijednosti (varijabli) uz ulazni parametar,
- Izračunavanje odgovarajućih vrijednosti ovisne varijable, i
- Analiza tih parova vrijednosti.

Glavna prednost analize osjetljivosti je eksplicitni prikaz grubog rangiranja alternativa (Flanagan i Norman, 1993; Woodward, 1995.). Međutim, analiza osjetljivosti ima dva ograničenja. Prvo, metoda ima univarijantan pristup, tj. samo se jedan parametar može mijenjati u isto vrijeme. Dakle, to bi trebalo primijeniti samo kada prevladava neizvjesnost u jednom ulazno-podatkovnom elementu (Kirk i Dell’Isola, 1995.). Drugo, nije cilj kvantificirati rizik, već identificirati čimbenike koji su osjetljivi na rizik. S obzirom na navedeno ograničenje, analiza se ne može koristiti kao konačna metoda donošenja odluka, već samo kao alat za pomoć glavnoj metodi.

2.3.4. Sažeti prikaz postojećih modela

Gotovo svi modeli koji se nalaze u literaturi koriste NPV pristup (jednadžba 8). Međutim, različita nomenklatura i/ili strukturna raščlamba troškova (engl. *Cost Breakdown Structure* – CBS) koristi se za opisivanje glavnih komponenti troškova životnog ciklusa. Američko društvo za ispitivanje i materijale (ASTM, 1983 citirano u Kishk i dr., 2003.) objavilo je sljedeći model izračuna troškova, čija je jedinstvena značajka razdvajanje troškova energije, pa se stoga mogu primjenjivati različite diskontne stope, kako bi se odrazile različite stope inflacije:

$$NPV = C + R - S + A + M + E \quad (8)$$

gdje su:

- C = troškovi investicije
- R = troškovi rekonstrukcije
- S = preostala vrijednost nakon završetka analiziranog razdoblja
- A = godišnji ponavljajući troškovi uporabe, održavanja i popravaka (osim troškova energenata)
- M = ponavljajući troškovi uporabe, održavanja i popravaka (osim troškova energenata)
- E = troškovi energenata

Bromilow i Pawsey (1987.) predložili su model čija je glavna značajka klasifikacija i podjela aktivnosti održavanja na ne-godišnje ponavljajuće troškove i na one koji ostaju kontinuirani:

$$NPV = C_{0i} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{it} (1 + r_{it})^{-t} + \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^T C_{jt} (1 + r_{jt})^{-t} - d(1 + r_d)^{-T} \quad (9)$$

gdje je:

- C_{0i} = trošak nabave u vrijeme $t = 0$, uključujući troškove razvoja, projektiranja i izgradnje, troškova zadržavanja i drugih inicijalnih troškova povezanih s početnom nabavom,
- C_{it} = godišnji trošak u vremenu t ($0 \leq t \leq T$) funkcije i ($0 \leq i \leq n$), kao što su održavanje, čišćenje, energenti i sigurnost, koji se mogu smatrati kontinuiranim tijekom vremena,
- C_{jt} = ne-godišnji trošak u vremenu t diskontinuirane funkcije potpore j ($0 \leq j \leq m$), kao što je premazivanje ili zamjena dijelova u određenom vremenu,
- r_{it} i r_{jt} = diskontne stope primjenjive na funkcije podrške i i j ,
- d = vrijednost imovine u vrijeme uklanjanja umanjena za troškove uklanjanja, te
- r_d = diskontna stopa koja se primjenjuje na vrijednost uklanjanja imovine.

Al-Hajj i Horner (1998.) su razvili jednostavne troškovne modele za predviđanje troškova upravljanja i održavanja u zgradama. Ovi se modeli temelje na činjenici da se za definirane kategorije građevina mogu izvesti jednake troškovno-značajne stavke pomoću statističkog pristupa. Ovi modeli mogu se izraziti kao:

$$R_c = \frac{1}{cmf} \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{(csi)it} (1+r)^{-t} \quad (10)$$

gdje su:

R_c = sadašnji diskontirani troškovi uporabe tijekom razdoblja T mjenog od vremena nabave,

cmf = faktor troškovnog modela (konstantan za različite kategorije građevine),

C_{jt} = troškovno značajne stavke: uređenje interijera, popravak krova, čišćenje, energenti, trošak upravljanja, rate, osiguranje i stolarija.

Tada se NPV može izračunati jednadžbom (Al-HAJJ, 1996. citirano u Kishk i dr., 2003.):

$$NPV = C_0 + \frac{1}{cmf} \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_{(csi)it} (1+r)^{-t} - d(1+r_d)^{-T} \quad (11)$$

Marenjak i koautori (2002.) razvili su model za izračunavanje troškova životnog ciklusa prema sljedećim izrazima:

$$UTP_p = Ti_p + Tfm_p \pm Tr_p \quad (12)$$

$$Tfm_p = \sum_{i=1}^e Tfm_e + \sum_{i=1}^z Tfm_z \quad (13)$$

$$Ti_p = \sum_{i=1}^e Ti_e + \sum_{i=1}^z Ti_z \quad (14)$$

gdje su:

UTP_p = ukupni troškovi životnog ciklusa građevine,

Ti_p = kapitalni (investicijski) troškovi građevine,

Ti_z = ostali investicijski troškovi (kupnja zemljišta, projekt, itd.),

Tfm_p = troškovi upravljanja građevinom u fazi projektiranja,

Tfm_z = troškovi upravljanja građevinom povezani s građevnim elementima (troškovi osiguranja, troškovi struje, itd.),

Tr_p = troškovi uklanjanja građevine u fazi projektiranja.

Prema strukturi podataka i analizi ukupnih troškova projekta, ovaj model omogućuje stvaranje različitih projektnih alternativa, i time smanjuje financijske i tehničke rizike.

Za razliku od prikazanih modela, postoje i oni isključivo usmjereni na troškove održavanja i uporabe građevina. 1991. godine autori Al-Hajj i Horner provode studiju o troškovima održavanja jedanaest učeničkih domova, šest učionica i tri laboratorija tijekom razdoblja od osamnaest godina, počevši od 1972. godine (Al-Hajj i Horner, 1998.). Zaključak izveden iz provedene analize ističe da se troškovno značajne stavke mogu odrediti uzimajući u obzir samo one stavke čiji su troškovi iznad prosjeka. Zapravo, analiza pokazuje da otprilike 15% svih stavki čini oko 85% ukupnog iznosa troškova održavanja. Navedeno istraživanje pokazuje da se povijesni podaci o troškovima mogu koristiti za izradu modela praćenja i predviđanja troškova održavanja zgrada.

Ovaj model može se izraziti kao:

$$R_C = \frac{1}{CMF} \sum_{i=1}^n [(c_1 + c_2) + (e_1 + e_2 + e_3) + (a_1 + a_2) + (o_1 + o_2) + (m_1 + m_2)] \quad (15)$$

gdje su:

R_C = ukupni troškovi uporabe,

CMF = faktor modela izračuna troškova – 0,87 (engl. *Cost Model Factor* – CMF),

n = vrijeme izraženo u godinama,

c_i = c_1 izdaci za troškove unutarnjeg čišćenja, c_2 troškovi pranja rublja,

e_i = e_1 plin, e_2 struja, e_3 gorivo,

o_i = o_1 rate, o_2 osiguranje,

a_i = a_1 naknade za upravljanje, a_2 sigurnost i zaštita,

m_i = m_1 unutarnje uređenje, m_2 popravak krova.

Analizom fakultetskih građevina Sveučilišta u Osijeku u radu (Krstić, 2011.) razvijen je model procjene troškova održavanja i uporabe građevina pomoću kojega je moguće planirati proračun

troškova. Osnovna prednost modela je jednostavnost primjene i mali broj lako dostupnih podataka koji je potreban za procjenu troškova. Model se izražava kao:

$$PGNTOiU = 379184 + 762,09 * P_{KOM} \quad (16)$$

gdje su:

$PGNTOiU$ = prosječni godišnji nominalni troškovi održavanja i uporabe,

P_{KOM} = površina komunikacija.

Na temelju dobivenog modela razvijen je izraz za izračun procijenjene neto sadašnje vrijednosti troškova održavanja i uporabe građevina za N godina:

$$PGNTOiU_{NPV} = PGNTOiU \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+r)^n} \quad (17)$$

gdje su:

$PGNTOiU$ = prosječni godišnji nominalni troškovi održavanja i uporabe,

r = nominalna diskontna stopa,

n = godina u kojoj se javljaju troškovi,

N = broj vremenskih razdoblja, godina, za koje se računaju diskontirani troškovi uporabe građevina.

Prema radu iz 2017. godine (Castro-Santos i dr., 2018.) napravljena je studija slučaja na gradnji vjetroelektrana u dubokom moru. Autori su se fokusirali na plutajuće vjetroelektrane, te su definirali njihove troškove. Vjetroelektrana koja se nalazi u dubokim vodama može biti definirana procesom životnog ciklusa, koji se u osnovi sastoji od nekoliko stadija (Castro-Santos i dr., 2013.).

Ukupni trošak životnog ciklusa plutajućih vjetroelektrana u dubokim vodama (Life-Cycle Cost System – LCS – of a Floating Offshore Wind Farm – FOWF – LCS_{FOWF}) može se provesti prema sljedećoj jednadžbi:

$$LCS_{FOWF}(k) = C1 + C2 + C3(k) + C4(k) + C5(k) + C6(k) \quad (18)$$

Model uzima u obzir trošak svake od navedenih faza:

- trošak koncipiranja i definiranja proizvoda (C1), neovisan o geografskoj lokaciji montirane vjetroelektrane (k);
- trošak projektiranja (C2), neovisan o geografskoj lokaciji (k);
- trošak proizvodnje (C3), ovisan o geografskoj lokaciji (k);
- trošak instaliranja, odnosno montaže vjetroelektrane (C4), ovisan o geografskoj lokaciji (k);
- trošak uporabe (C5), ovisan o geografskoj lokaciji (k); i
- trošak demontaže na kraju životnog vijeka (C6), ovisan o geografskoj lokaciji (k).

U nekoliko radova autori su se usredotočili na poboljšanje metode izračuna troškova u praktičnoj primjeni, posebno u radu autora (Engelhardt i dr., 2003.), koji ispituju važnost razvoja poboljšanih modela za unaprjeđenje procesa donošenja odluka vezanih uz kapitalna ulaganja u programe javne infrastrukture. Podofilini i suradnici (2006.) razvili su metodologiju s informacijama o riziku za određivanje optimalne strategije održavanja s ciljem smanjenja troškova rada i održavanja, pritom i dalje osiguravajući visoke standarde sigurnosti.

Yang i suradnici (2006.) istraživali su propadanje i učinak aktivnosti održavanja uzimajući u obzir karakteristike postojećih konstrukcija. Okasha i Frangopol (2009.) predložili su novi pristup optimizaciji održavanja koji integrira pouzdanost sustava i redundancije, kao i troškova životnog ciklusa. U pristupu rate s prilagođenim rizikom nedostatak troška posuđivanja novca uklanja se uključivanjem prirasta, što odražava varijabilne stupnjeve rizika između projekata i nesigurnosti budućih događaja kao što su predložili (Ruegg i Marshall, 1990.).

Ovi modeli predstavljaju značajno pojednostavljenje osnovnih modela i pretpostavki za izračun troškova životnog ciklusa. Međutim, prilikom kalkulacije potrebno je obratiti pozornost na moguće netočnosti koje se događaju zbog više razloga (Kirkham i dr., 1999; Kishk i dr., 2003; Ashworth i Perera, 2015.):

- modeli ne uzimaju u obzir različite materijale ili dijelove koji se koriste u raznim zgradama,
- povremeno se pojave stavke neuobičajeno visoke cijene,
- pretpostavlja se da su odnosi troškova i njihovog značaja linearni, što možda i nije uvijek slučaj,
- skupovi podataka koji se koriste za razvoj modela su ograničeni,
- usvaja se jednostavan postupak normalizacije podataka (izražavanje troškova u novčanim jedinicama po metru kvadratnom), što ne daje točne rezultate, jer ignorira druge čimbenike kao što su starost građevine, lokacija, zauzetost i standardi uporabe i održavanja i
- povijesni podaci o održavanju, u smislu vremena i troškova, predstavljaju samo dio građevina za koje su podaci bili dostupni.

Činjenicu da su metode neto sadašnje vrijednosti i godišnjeg ekvivalentnog troška najprikladnije za izračun troškova životnog ciklusa u građevinskoj industriji potvrđuje i stav autora u radu (Kishk i dr., 2003.). Govoreći općenito, metoda troškova životnog ciklusa koristi se kako bi se njome upravljalo svim vrstama troškova – izlaznim i ulaznim troškovima tijekom definiranog vremena (Taylor, 1981; Stewart, 2001; Boussabaine i Kirkham, 2004.). Definirano vrijeme tijekom kojega se prate troškovi može biti projektirani vijek trajanja građevine, ili trajanje određeno drugim formama zastarjelosti građevine, poput fizičkog, funkcionalnog, tehnološkog, sociološkog ili pravnog, odnosno prodaja ili prijenos građevine drugom vlasniku (Sun i Carmichael, 2017.). Dostupnost podataka pokazala se kao značajna poteškoća prilikom odabira metode za izračunavanje troškova životnog ciklusa (Zayed i dr., 2002.; Kong i dr., 2003.; Wang i dr., 2004.; Davis Langdon Management Consulting, 2007.; Sun i Carmichael, 2017.)(Zayed, 2002.; Kong, 2003.; Wang, 2004.; Davis Langdon Management Consulting, 2007.; Sun, 2017.). Pregledom literature utvrđeno je da ne postoji primjena analize troškova životnog ciklusa na

pontonskim gatovima i sidrenom sustavu pontona i plovila. U radu (Kamyk i Śliwiński, 2016.) napravljena je analiza troškova životnog ciklusa na pontonskom mostu koji je korišten u vojne svrhe, a budući da nema primjera primjene analize na pontonske mostove, prikazani su primjeri uporabe u civilnom mostu i brodogradnji za procjenu troškova trajekata, zbog sličnosti njihove funkcije s onom na pontonskom mostu. Istraživanje je uključivalo komparativnu analizu troškova i utjecaje na okoliš tijekom životnog ciklusa mosta za tri varijante modernizacije mosta, koristeći novu hodnu površinu mosta: od armiranog betona, čelika ili aluminija.

3. PONTONI I SIDRENI SUSTAV MARINE

3.1. Projektiranje marine

Hrvatska je sredozemna zemlja čiji je otočki arhipelag prepoznatljiv tržišni znak turizma i komparativna prednost u njegovu razvoju (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture i Ministarstvo turizma, 2008.). Kako navode autori Dogan i Mršić u svom radu (2013.) nautički turizam u Hrvatskoj predstavlja izvozni proizvod s neprocjenjivom važnošću za razvoj gospodarstva, koji još uvijek ne ostvaruje odgovarajuću materijalnu dobit, pa se njegov pravi razvoj tek očekuje. Nautički turizam kao djelatnost obećava mnogo za cjelokupno gospodarstvo, a postojeći organizacijski modeli kao i Strategija razvoja nautičkog turizma omogućavaju kvalitativni i kvantitativni razvoj koji će potaknuti gospodarski rast (Dogan i Mršić, 2013.). Održivi razvoj treba sagledati ne samo kroz izgradnju novih marina, povećanju kapaciteta, već i kroz povećanje kvalitete u simbiozi s postojećim resursima i infrastrukturom. Budući razvoj nautičkog turizma u Hrvatskoj treba promatrati kroz stvaranje okvira za ravnotežu ekonomskog napretka i održivosti razvoja, ali i vrednovanje dugoročno planiranih sustavnih mjera, čime bi se stvorili uvjeti za poboljšanje gospodarske slike hrvatskoga jadranskog prostora. Da je jadranski prostor prepoznatljiv i autentičan ili jednostavno drukčiji, tradicionalno orijentiran, govori i analiza učestalosti dolazaka inozemnih nautičara koje je proveo Institut za turizam (Marušić i dr., 2015.) Jadranom je 39% nautičara plovilo šest ili više puta, a 30% više od tri puta. Hrvatska je zemlja čiji su prirodni resursi glavni motivirajući faktor za dolazak i boravak turista te održivo iskorištavanje postaje uvjet razvoja i ujednačenosti s ekonomskim dijelom jednadžbe.

Marina je dio vodenog prostora i obale posebno izgrađen i uređen za pružanje usluga veza i čuvanja plovniha objekata, te smještaja turista-nautičara u plovnim objektima odnosno u smještajnim objektima marine. U marinama se pružaju i druge uobičajene usluge turistima-nautičarima, a mogu se pružati i usluge servisiranja i održavanja plovniha objekata (Pravilnik o kategorizaciji, NN 120/19). Projektira se na pomorskom dobru i za obavljanje djelatnosti nužno je dobivanje koncesije od strane Republike Hrvatske, lokalne ili regionalne samouprave na određeno razdoblje. Marina može uključivati pomoćne dijelove kao što su skalade – vlake za

izvlačenje plovila, servisne zone s dizalicama, uređajima za popravak i održavanje plovila i ostalim potrebnim priborom, pumpu za opskrbu gorivom, te prostore za ostale usluge turistima poput hotela, restorana, praonice rublja, odlagališta i reciklaže otpada. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti ekološkim aspektima i interesima očuvanja okoliša, što dovodi do inovativnih tehnoloških pristupa potrebnih za rješavanje problematike strožeg zakonodavstva o zaštiti okoliša.

Marine kao investicijski projekti mogu se svesti u pet ključnih faza (COWI, 2016.):

1. Planiranje projekta
2. Ispitivanje okoline
3. Projektiranje
4. Usluge i servisi
5. Upravljanje gradnjom i nadzor.

Područje planiranja projekta i samo projektiranje marine zahtijeva širok raspon znanja koji mogu odgovoriti na lokalne uvjete i zadane vizije. Postoji međuovisnost urbanih sustava i zajednica, kao i globalnih pitanja koja stvaraju društvene infrastrukture integriranog urbanizma. Za rješavanje tih pitanja i uspješno isporučivanje zadovoljavajućih rješenja unutar okruženja potrebna je interdisciplinarna suradnja različitih stručnjaka, poput stručnjaka za zaštitu okoliša i kulturnu baštinu, urbanista, arhitekata, inženjera za obalne gradnje, stručnjaka za prometnu infrastrukturu te ekonomskih i financijskih stratega za poslovne planove. Svaka projektna lokacija ima jedinstvenu okolinu i zahtjeve, a u obzir treba uzeti i lokalne uvjete i viziju kao i zahtjeve investitora. Uzajamno djelovanje i integracija različitih znanstvenih disciplina može omogućiti projektnom timu da stvori održiv i atraktivan projekt marine i njenog urbanog područja, koji će ispuniti očekivanja i zahtjeve svojih kupaca, lokalnog stanovništva i posjetitelja.

Razumijevanje okruženja u kojemu se projekt treba graditi, zahtijeva znanja i različite vrste informacija dobivenih iz različitih izvora. Projekt je potrebno pravovremeno proučiti uz pomoć lokalne zajednice kako bi se osiguralo postavljanje projekta u svoj kulturni, povijesni, geografski, okolišni, socijalni i ekonomski kontekst. Kvalitetno postavljen projekt marine donosi višestruku

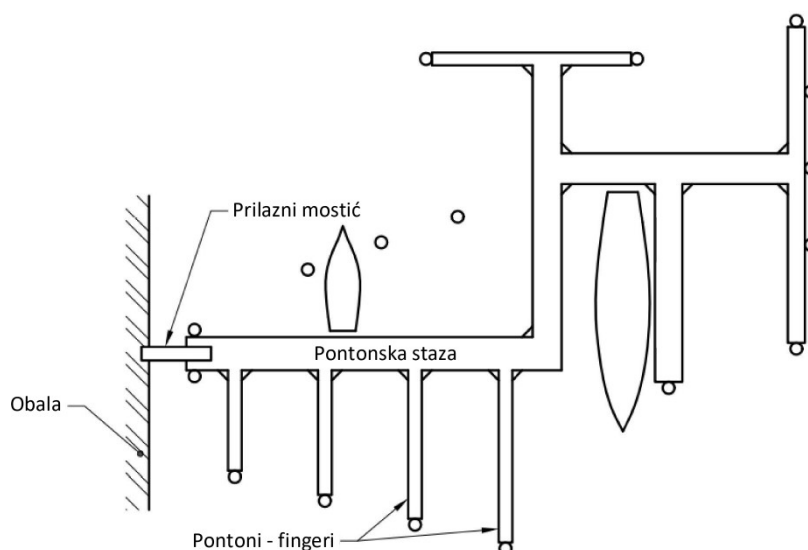
ekonomsku korist i povećanje ekonomske aktivnosti lokalne i regionalne zajednice. Kvaliteta projekta, uz pouzdane i iskusne projektante ovisi o točnosti i detaljima informacija dobivenih anketama, studijama i istraživanjima. Prije projektiranja moraju postojati detaljna saznanja o lokalnom području i okolišu. Istraživanja uključuju geotehnička i geofizička ispitivanja, ispitivanja postojeće komunalne infrastrukture, prikupljanje podataka o podmorju, batimetrijska i topografska ispitivanja, vjetrovalne klime, studije valovanja i maritimne studije, urbanističke i krajobrazne studije, arheološka i kulturna istraživanja, seizmička istraživanja, integracija novoprojektirane obale, projektiranje životnog vijeka te procjene utjecaja na okoliš.

Projekt svake marine je jedinstven. Dvije lokacije nikada nemaju istovjetne okolišne i geografske uvjete niti jednaku viziju projekta. Projekt marine može biti gradnja nove marine ili obnova, rekonstrukcija ili proširenje postojeće marine. Na globalnoj razini postoje relevantni standardi, međunarodne smjernice i iskustvena praksa projektiranja.

Marine imaju posebne zahtjeve za komunalne usluge i servise. Opseg pružene usluge u marini može varirati od osnovnog do luksuznog. Sustav komunalne infrastrukture mora pružiti maksimalnu zaštitu elemenata od vode i mehaničkih oštećenja, istodobno vodeći računa o njihovoj dostupnosti za popravke i održavanje. Postoji cijeli niz komunalnih usluga i servisa potrebnih za marine, kao što su električne instalacije i rasvjeta, informacijska i komunikacijska tehnologija, sustavi telefonije, interneta, televizije, satelitske televizije, kompjuterizirani sustavi nadzora, cjevovodi pitke vode i vode za protupožarnu zaštitu, sanitarni kolektori, crpne stanice, sustav gospodarenja otpadom, opskrba gorivom, sustavi za odleđivanje, sustavi za grijanje i hlađenje, sigurnosni video nadzor, sigurnosni ulazi za pristup, ograde i organizirano čuvanje, oprema za sigurnost i spašavanje te sustav navigacije.

Marina se može definirati na kao bilo koja građevina (javna ili privatna) s deset ili više vezova i/ili suhih vezova s pristupom obali (Ross i Wickford, 1988.). Može uključivati i brodogradilište koje nudi usluge i popravke plovila, klub ili javni park. U najširem smislu, marina je bilo koja rekreativna građevina koja osigurava pristupne točke u i sa plovila.

U australskim standardima izdanim 2010. godine marina se navodi kao grupa pontona, molova, riva ili sličnih konstrukcija projektiranih ili prilagođenih svrsi vezivanja plovila koja služe isključivo osobnim užicima, hobijima ili relaksaciji. Može uključivati pomoćne dijelove kao što su skalade, uređaji za popravak i održavanje plovila te opskrbu gorivom ili ostalim potrebnim priborom. Vezovi unutar marine sastoje se od staza ili prolaza, i ne podupire ih niti jedna druga konstrukcija. Ove staze mogu biti fiksni ili plutajući gatovi. Plutajući gatovi mogu se usidriti pomoću pilota, sidrenih lanaca ili konopa koji omogućavaju slobodno okomito kretanje. Plovila su privezana u jednostrukom ili dvostrukom vezu na ponton – finger ili konfiguracijom sidrenih vezova (slika 6).



Slika 6. Plutajući vezovi (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.)

Finger je prema Uputama za projektiranje marina (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.) definiran kao fiksna ili plutajuća konstrukcija (ponton) spojena s pontonskom stazom, koja pruža pristup osobi na i sa privezanog plovila. Pontoni ili plutajuće konstrukcije definirani su kao konstrukcije kod kojih se prikladna stabilnost dobiva spajanjem pontonskih elemenata i finger u stabilnu konfiguraciju L- i T-oblika. Sve veze među pontonskim elementima moraju biti u mogućnosti prenijeti stabilizacijske sile. Sidreni sustav marine je neovisna odnosno slobodnostojeća konstrukcija na koju se sidri plovilo. Primjer postavljenog finger u jednoj od ispitanih marina prikazan je na slici 7.



Slika 7. Ponton – finger

Prve smjernice za projektiranje marina za plovila do 24 metra sažete su u radu autora van Vleck i dr. (1984.). Navedeno je više kriterija za izvedbu plutajućih gatova i njegove opreme, primjerice veličina, lokacija, projekt i izvođenje svih instalacija. Sve instalacije na plutajućim konstrukcijama moraju biti postavljene na način da imaju najvišu razinu zaštite od raznih utjecaja i mehaničkog zamora i oštećenja. Nijedna cijev ni kabel od postavljenih instalacija ne smije se postaviti na hodnoj površini plutajuće strukture.

3.2. Pontoni i sidreni sustav marine

Kako je već navedeno, pontoni su definirani kao plutajuće konstrukcije kod kojih se prikladna stabilnost dobiva spajanjem fingera ili sličnih stabilnih konstrukcija L- i T-oblika. Osnovna značajka svakog pontona je uzgonski element napravljen najčešće od stiropora ili plastičnih tankova punjenih ekspanziranom polistirenskom pjenom, a postoje i pontoni s cijevima umjesto tankova. Nadvođe pontona je udaljenost između razine morske površine u mirovanju i razine hodne površine. Ovisno o visini valova i prosječnoj visini palube plovila za koju su namijenjeni, nadvođe može iznositi od 15 do 60 cm. Pontonski most je konstrukcija koja pruža pješački pristup sa nepomične točke (uobičajeno rive ili uređene obale) na plutajuće vezove. Sidreni sustav marine je neovisna odnosno slobodnostojeća konstrukcija na koju se sidri plovilo.

Svaki pontonski gat koji se sastoji od jednog ili više povezanih pontona, prema zahtjevima Hrvatskog Registra Brodova (2019.) mora dobiti tipsko odobrenje. Svjedodžba o sigurnosti plutajućeg objekta za pontonske gatove u marinama izdaje se na zahtjev vlasnika marine nakon dostavljene tehničke dokumentacije i potrebnih atesta, odrađenog baždarenja gata, pregledu i odobrenju dokumentacije, izdanoj Potvrdi o tehničkim podacima plutajućeg objekta te izvršenog upisa plutajućeg objekta pri nadležnoj Lučkoj kapetaniji. Tehnička dokumentacija svakog pontona sadrži tehnički opis pontona s projektnim značajkama stanja mora (visina valova) i podacima o najvećim dimenzijama i broju plovila koji se vezuju na ponton, opći plan pontona, tehnologiju izrade pontona, popis korištenih materijala i proizvoda, nacрте strukture s karakterističnim presjecima, detalje spoja pontona s pripadnim proračunom, proračune uzdužne čvrstoće i stabiliteta pontona prema normi BS 6349-1-1:2013 (BSI Standards Publication, Maritime works – Part 1-1 : General – Code of practice for planning and design for operations, 2013.), detalje bitvi za privez te nacрте i detalje proračuna fingerа. Tipsko ispitivanje pontona obuhvaća pregled i kontrolu dimenzija pontona, čime se utvrđuje je li ponton izrađen u skladu s odobrenom dokumentacijom, provjeru uzdužne čvrstoće na način da se ponton ovjesi na dva kraja i optereti s dopuštenom nosivosti prema dostavljenom proračunu i mjerenje nadvođa na sva četiri ruba slobodno pontona. U svaki ponton se postavlja infrastruktura predviđena za privez plovila – elektroinstalacije, hidroinstalacije i ostala instalacije prema standardima. Na slici 8 prikazan je shematski presjek betonskog pontona, na kojemu se može vidjeti uzgonski element od stiropora, armatura i beton te instalacije provedene prije betoniranja. Priključci i odgovarajući utikači moraju biti uzemljeni i imati prikladne ocjene za tu svrhu. Korištene žice moraju biti otporne na učinke vode, ulja, ozona, smoga i sunčeve svjetlosti. Svi postavljeni kabeli i cijevi moraju prikladno zaštićeni od fizičkih oštećenja. Protupožarne cijevi i kalemi moraju biti predviđeni na dovoljnom broju mjestima, kako bi pružili zaštitu svim plutajućim konstrukcijama i brodicama u marini. Osoblje marine mora u redovitim razmacima uspostaviti dobro planirani, upravljani i nadzirani program testiranja i održavanja. Svo osvjetljenje, kako na plutajućim strukturama, tako i na obali, mora biti dizajnirano kako bi se smanjila refleksija na navigacijskim i plovnim kanalima. Bitve za privez plovila moraju biti postavljene u odnosu na veličinu i tip plovila za koje su predviđene (PIANC, 2002.).



Slika 8. Primjer postavljene infrastrukture u pontonu (STYRO, 2020.)

Pontoni, odnosno plutajući gatovi, imaju mnoge prednosti naspram onih fiksnih. Uz investicijsku prednost valja naglasiti i kontinuitet koji ponton omogućava korisniku prilikom ulaska i silaska na plovilo, bez obzira na morske mijene i razinu mora te veća fleksibilnost s obzirom na razinu vode i udar valova. Prednost pontona je i mogućnost veoma jednostavnog razmještanja i modifikacije početnog postava, ukoliko je potrebno, ili ukoliko marina pruža usluge vezivanja samo unutar ljetne sezone. Materijali koji se koriste u izgradnji pontona trebaju biti u skladu s relevantnim materijalima propisanim u standardu. Pontoni se uglavnom proizvode od betona, aluminija i/ili plastike, a obzirom na način projektiranja i dimenzije mogu se postaviti i kao valobrani ili lukobrani za zaštitu luke (Buchet i dr., 2011.). Primjer pontona s plastičnim tankovima, aluminijskim okvirom i drvenom hodnom površinom prikazan je na slici 9. Svi materijali koji se koriste prilikom gradnje plutajućih gatova moraju imati karakteristike koje umanjuju korozivne učinke okoliša i moraju biti prikladni za uporabu u moru. Metalni materijali za opću uporabu, osim vodova i uređaja, moraju biti otporni na koroziju, a plastični materijali moraju biti prikladni za uporabu na vlažnim mjestima, izloženosti sunčevom svjetlu i otporni na učinke ozona i nadmorske visine.



Slika 9. Ponton s plastičnim uzgonskim elementom (INGEMAR S.r.l., 2020.)

Prema smjernicama za projektiranje marina izdanim u Kaliforniji (Tsuneyoshi, 2005.) hodna površina (u razgovoru deking) element je u sustavu marina koji je vjerojatno najvažniji za nautičare. Oni se ne brinu koja vrsta pontona je u uporabi ili kakvih je karakteristika postavljena infrastruktura. Hodna površina je najbliži element pontonskog sustava i njegova funkcionalnost može odrediti smjer prema pozitivnim ili negativnim iskustvima vezivanja u određenoj marini. Hodna površina se može pričvrstiti na konstruktivni okvir, ili može biti dio konstruktivnog okvira, kao što je to slučaj kod betonskih uzgonskih elemenata.

Hodna površina koji se koristi u marinama uključuje različite vrste drva (tlačno tretiranog ili netretiranog), proizvode od kombinacije reciklirane plastike i drva, metalne površine, stakloplastiku ili beton. Hodna površina mora biti orijentirana tako da hrapavost bude izražena okomito na primarni smjer kretanja. Zrnatost se dobiva završnim potezima metlom ili četkom na betonu, praznine između podnih obloga, i svih vrsta reljefnih površina koje povećavaju trenje na ekstrudiranim metalnim i plastičnim hodnim površinama. Podloga na dostupnoj ruti ne smije imati šupljine veće od 1,27 cm, a praznine moraju biti okomite na smjer kretanja u najvećoj mogućoj mjeri. Drveni podovi moraju biti orijentirani bočno, preko širine pristaništa, a nikada longitudinalno duž dužine pristaništa. Ovo se odnosi na sve šetnice, pruge i prolaze. Torzijsko uvijanje postupno slama pričvršćivače na stražnjim krajevima uzdužnih podnih obloga,

dopuštajući podizanje suprotnih kutova i moguću opasnost od pada. Lateralna podna obloga okomita je na torzijsku os i u osnovi torzijsko uvijanje nema učinaka. Na slikama 10a i 10b nalaze se primjeri hodne površine na pontonima.



Slika 10. Primjer hodne površine na pontonu: a) drvena hodna površina, b) beton

Prema australskim standardima (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.) prilikom izbora novog pontonskog sustava, ili rekonstrukcije postojećeg, projektant mora u obzir uzeti sljedeće karakteristike:

- Vrijeme i kompleksnost izrade novog projekta,
- Projektirani životni vijek konstrukcije s obzirom na vremenske uvjete u marini, posebno uzevši u obzir čvrstoću i izdržljivost,
- Izdržljivost pontonskog sustava u marini s obzirom na promjene valne klime na lokaciji te moguća potreba za smanjenjem agitacije valova pontonskim valobranom ili fiksnim lukobranom,

- Mogućnost održavanja propisanog minimuma pontonskog gaza prilikom djelovanja ekscentričnog opterećenja svih dijelova pontonskog sustava, uključujući i krajeve fingera,
- U slučaju požara na vezanom plovilu, izdržljivost pontonskog sustava na požar bez značajnijih oštećenja, uključujući i sustav za sidrenje,
- Izdržljivost spojeva pontonskih elemenata na zamor materijala,
- Razinu buke koju generira sustav pontona pri pješačkim opterećenju ili pod valnim djelovanjem i
- Lakoću zamjene dijelova pontonskog sustava koji mogu biti oštećeni udarom broda ili imaju kraći projektirani vijek trajanja od ostatka konstrukcije.

3.3. Pontonski valobrani

Kao što je navedeno u prethodno potpoglavlju, prilikom izbora novog pontonskog sustava, ili rekonstrukcije postojećeg projektant mora u obzir uzeti i moguću potrebu za smanjenjem agitacije valova pontonskim valobranom ili fiksnim lukobranom. Lukobrani su vodne građevine namijenjene zaštiti morskih i obalnih građevina protiv dinamičkih sila valova, čija namjena je zaštita maritimnog dijela za prihvata plovila. Marina može nepredvidljivoj valnoj klimi otvorenog mora biti izložena na više načina: utjecajem difrakcije valova (savijanjem valova oko krajeva lukobrana), utjecajem loma valova (savijanjem valova uslijed plitke dubine) ili utjecajem refleksije valova (valovi koji se odbijaju od čvrstih površina poput zidova ili lukobrana) (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.). U projektiranju marina za manja plovila potrebno je ograničiti visinu valova koja može naletjeti na marinu i plovila vezana u marini. Ovo je ograničenje neophodno za osiguranje marine kao utočišta za vez i zaštitu plovila. Visina valova može se prirodno ograničiti smještanjem marine u zaštićene vode. U slučaju da će marina biti smještena na velikim izloženim plovnim putovima gdje se prevelike visine valova javljaju za vrijeme jakog vjetrova, tada bi visinu valova trebalo ograničiti pomoću pontonskih valobrana ili fiksnih lukobrana (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.).

Lukobrani mogu biti fiksni ili plutajući. Fiksni lukobrani mogu ometati struje i smanjivati brzinu protoka mora u marini, što može rezultirati smanjenom kvalitetom mora i povećanom nakupljanju mulja i pijeska. Projektiranje lukobrana stoga treba sagledati prirodne struje i protok sediment, kao i vrstu valova. Plutajući lukobrani, odnosno pontonski valobrani nude alternativu konvencionalnim fiksnim lukobranima i prihvatljiv su izbor u okruženju s relativno malim valovima ili u određenim situacijama (Williams i dr., 2000.). Iako su pontonski valobrani učinkoviti samo za valne duljine kraće od dvostruko veće širine valobrana i nisu učinkoviti na otvorenim obalama, tamo gdje su uvjeti povoljni, plutajući valobrani optimalan su izbor za zaštitu marine u odnosu na fiksne lukobrane zbog sljedećih razloga (AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas, 2010.; Moghim i Botshekan, 2017.):

- trošak gradnje gotovo je neovisan o dubini mora,
- mogu se koristiti tamo gdje je meko ili nestabilno dno, što isključuje upotrebu fiksnih konstrukcija,
- mogu se lako premjestiti ako je potrebno,
- mogu minimalizirati potencijalne smetnje migracija ribe i obalnih procesa te mogu smanjiti modifikaciju bentosnog staništa.

Glavni nedostatak plutajućih valobrana česti su kvarovi na konstrukciji valobrana ili njegovog sidrenog sustava, zbog čega ih je potrebno redovito pregledavati i održavati. Za razliku od pontona, pontonski valobrani masivnije su konstrukcije. Valobrani certificirani u Republici Hrvatskoj (Hrvatski registar brodova, 2020.) najiskoristiviji su za prigušenje valova čija značajna visina može biti od 0,9 – 1,2 m. Dimenzije su u rasponu od 10 – 20 m duljine plutajućeg valobranskog elementa, širina elementa valobrana iznosi od 3,8 – 6,3 m, a nadvođe valobrana u rasponu je od 0,53 – 0,8 m.

3.4. Uporaba i održavanje pontona

Najčešći uzrok oštećenja i smanjenja trajnosti te najveće štete na armiranobetonskim konstrukcijama u morskim uvjetima događaju se uslijed štetnog djelovanja klorida. U okolini koja predstavlja iznimno nepovoljan i agresivan okoliš dolazi do propadanja armiranobetonskih

konstrukcija, čeličnog okvira, lanaca i konopa kojim su sidreni pontoni i plovila. Kod većih oštećenja pristupa se zamjeni dijela pontona – čeličnog okvira i betonskog uzgonskog elementa – bez promjene hodne površine. Jedna takva zamjena prikazana je na slici 11.

a)



b)



c)



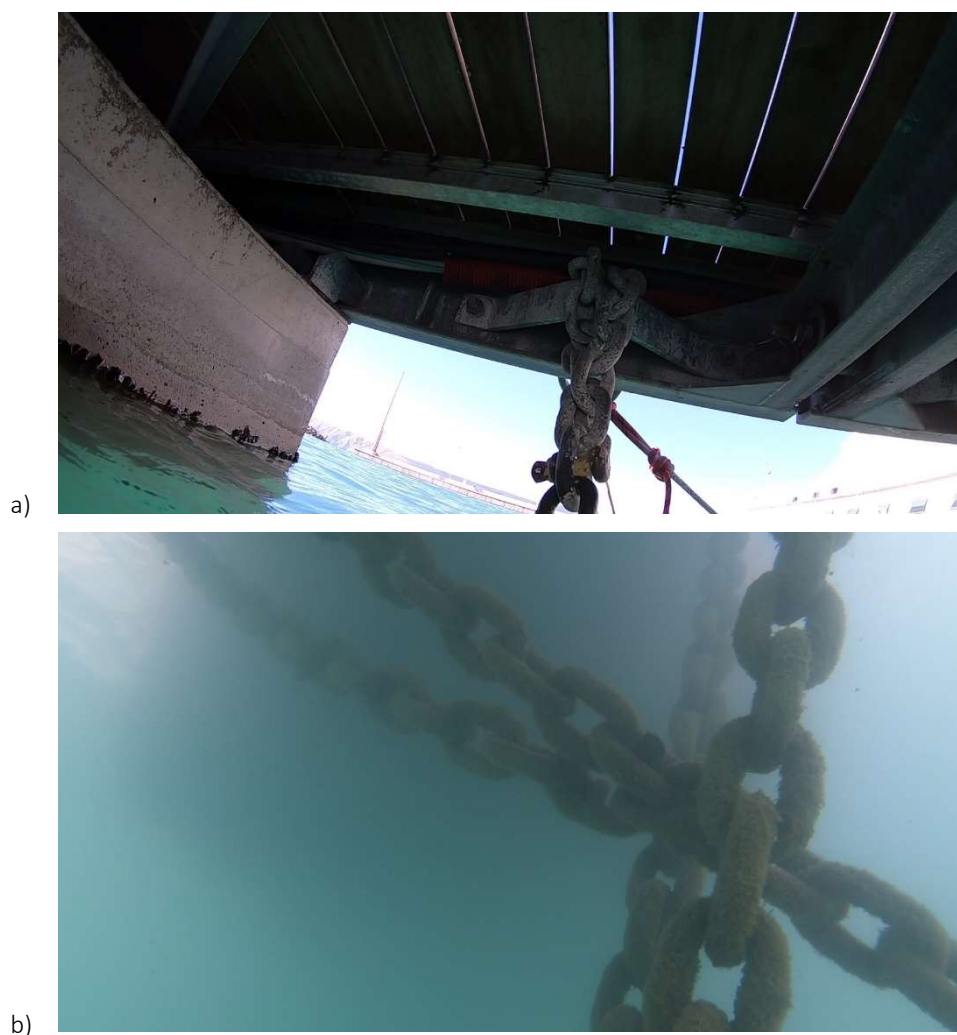
d)



Slika 11. Primjer zamjene oštećenog betonskog uzgonskog elementa i čeličnog okvira

Na slici 11a vidljivi su stari dijelovi pontona (betonski blokovi s ispunom od stiropora) koje je potrebno zamijeniti. Slika 11b prikazuje novu čeličnu konstrukciju na koju se postavljaju novi betonski blokovi s ispunom od stiropora. Slike 11c i 11d prikazuju ponton sa zamijenjenim dijelovima koji se vraća natrag na predviđeni položaj u marini.

Jedna od prednosti uporabe pontona sidrenih lancima i konopima naspram fiksnih gatova je jednostavnija zamjena i popravak dijelova pontona. Korištenjem usluga vanjskih ronioaca ili mornara koji su zaposleni u marini, izvode se pregledi pontona kako bi se ustanovilo stanje sidrenog sustava, njegovog spoja s pontonom te dna pontona (slika 12a i 12b).



Slika 12. Pregled spoja pontona sa sidrenim sustavom: a) pregled ispod pontona iznad razine mora, b) podvodni pregled pontona

Po potrebi se pristupa zamjeni lanaca i konopa te čišćenju pontona od nakupljenih algi i školjki. Nedostatak uporabe pontonskih gatova je nesistematizirani pristup redovnom održavanju, pregledima i zamjenama dijelova kraćeg životnog ciklusa od pontona. Vizualni i podvodni pregledi izvode se ovisno o lokaciji marine, znanju i dosadašnjem iskustvu voditelja marine.

Cilj ovoga rada je formulacija modela pomoću kojega bi bilo moguće sistematizirano i usmjereno upravljati troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine radi kvalitetnijeg upravljanja marinama od strane donositelja odluka u upravljanju marinama. Opsežnim pregledom literature može se zaključiti kako postoji nekoliko modela izračuna troškova životnog ciklusa građevina, međutim nijedan od modela ne analizira povezanost karakteristika pontona i sidrenog sustava marina koji se definiraju prilikom projektiranja marine (primjerice duljinu i broj gatova ili broj vezova po duljini plovila) i troškova životnog ciklusa. U Hrvatskoj nikad nije provedeno istraživanje navedene problematike te ne postoje baze podataka o troškovima marina i njenih konstruktivnih dijelova. Tehnički nedostatak također predstavlja i nerazrađena zakonska regulativa koja bi propisala načine i vremenske intervale održavanja marina. Trenutno je na snazi Pomorski zakonik (NN 17/19) kojim se smanjuje regulatorna obveza održavanja pontonskih gatova. Izmjenama i dopunama Pomorskog zakonika donesenima 13. veljače 2019. godine ukinula se obveza upisivanja pontonskih gatova u upisnik brodova, čime se negativno utječe na kontrolu i održavanje pontona prema do tada određenim pravilima Hrvatskog registra brodova. S obzirom da marine pripadaju osjetljivom dijelu ekološkog spektra, dok istodobno imaju veliko značenje s gledišta ekonomskog razvoja i razvoja turizma, oblikovanjem modela procjene troškova životnog ciklusa i održavanja marina ostvario bi se znanstveni i gospodarski doprinos.

4. MODELIRANJE PROCJENE TROŠKOVA UPORABE I TROŠKOVA ŽIVOTNOG CIKLUSA

Svrha ove doktorske disertacije je istražiti mogućnost upravljanja troškovima životnog ciklusa u marinama razvojem modela procjene troškova životnog ciklusa pontona. U tu svrhu analizirali su se dostupni podaci prikupljeni u marinama na području Republike Hrvatske, za razdoblje od 2008. do 2018. godine o troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava u marinama, s naglaskom na troškove održavanja i troškove uporabe. Problem pri korištenju dosadašnjih dostupnih modela na upravljanju troškovima životnog ciklusa predstavlja činjenica da su postojeći modeli bazirani na drugim vrstama građevina te nije uzeta u obzir specifičnost marina kao građevine, što ukazuje na različit značaj pojedinih troškovnih elemenata unutar strukture ukupnih troškova životnog ciklusa.

Istraživanje predstavljeno u ovom radu daje osnovu za razvoj jednostavnog i jedinstvenog modela za predviđanje troškova životnog ciklusa koji se temelji na klimatološkim i geografskim karakteristikama lokacije na kojoj su pontoni postavljeni te na parametrima koji se određuju prilikom projektiranja marine. Specifičnost marine kao građevine očituje se i u činjenici da je procjena vijeka trajanja pontona 20-25 godina, što je osjetno kraće od vijeka trajanja ostalih građevina na kojima su provedena neka od dosadašnjih istraživanja. Dvadeset i dvjema marinama (od ukupno 70 marina registriranih u Republici Hrvatskoj) upravlja dioničko društvo u većinskom državnom vlasništvu. Neke od marina specifične su po tome što je tijekom zimskog razdoblja broj korisnika smanjen, i odnosi se na korisnike marine na suhim vezovima. Od šesnaest (16) analiziranih marina, tri (3) marine rade isključivo u ljetnim mjesecima, od travnja do listopada i u ostalom dijelu godine nisu dostupne za privez plovila, što se uzelo u obzir prilikom određivanja prosječnog broja korisnika na pontonskim vezovima.

4.1. Strukturna raščlamba troškova

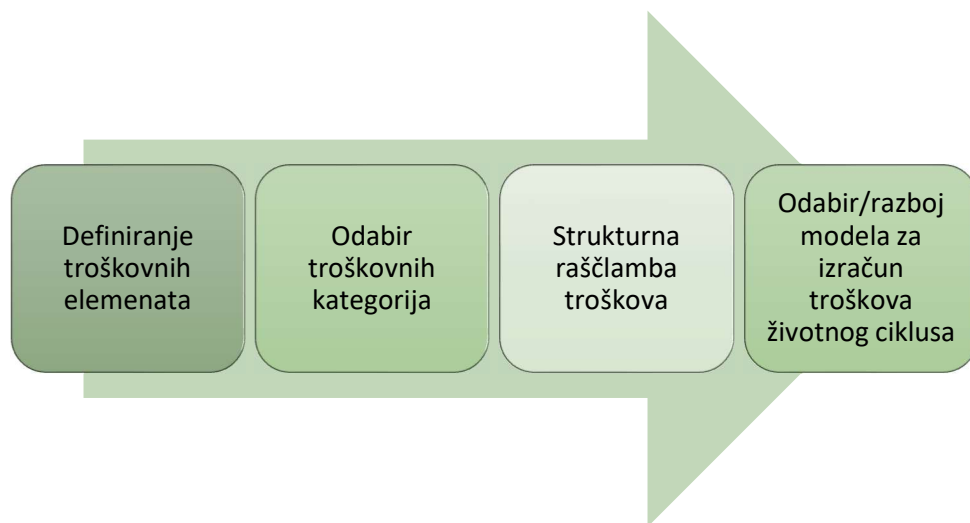
U implementaciji metode troškova životnog ciklusa mogu se identificirati dvije metode dodjeljivanja troškova. Kod troška sustava resursi se dodjeljuju funkcionalnim dijelovima

građevine, i omogućavaju usporedbu projektnih alternativa u ranim fazama projektiranja. Kod detaljnog dodjeljivanja troškova (Kirk i Dell'Isola, 1995.) potrebno je raščlaniti građevinu u sastavne dijelove, čiji se troškovi mogu jasno definirati i procijeniti. Strukturna raščlamba troškova povezuje ciljeve i aktivnosti s resursima i predstavlja logičnu raspodjelu troškova prema funkcionalnosti, području, glavnim elementom sustava i/ili više diskretnih klasa zajedničkih stavki (Fabrycky i Blanchard, 1991.).

Složenost strukturne raščlambe i identifikacija elemenata troškova i njihovog odgovarajućeg opsega ovise o opsegu i ciljevima analize troškova životnog ciklusa. Svaka strukturna raščlamba troškova trebala bi sadržavati sljedeće procese (Fabrycky i Blanchard, 1991; HSMO, 1992.):

- Detaljno razmotriti i identificirati sve kategorije troškova,
- Jasno definirati svaki troškovni element uključen u raščlambu tako da sve uključene strane imaju jasno razumijevanje onoga što je uključeno u određenu kategoriju troškova,
- Razložiti troškove na dovoljno detaljnu razinu koja je potrebna u procesu donošenja odluka, uz jasno vidljiva područja značajnijih troškova,
- Razdvojiti troškove na različite razine podataka koje mogu biti umetnute u različite kategorije (svaki element troška treba biti povezan sa značajnom razinom aktivnosti),
- Kodirati strukturnu raščlambu kako bi se omogućila analiza specifičnih područja interesa, istovremeno zanemarujući ostala područja i
- Troškovi koji se pohranjuju putem različitih informacijskih sustava moraju biti kompatibilni i usklađeni s onima usporedivim čimbenicima troškova u raščlambi troškova.

Strukturna raščlamba troškova važan je korak u procesu razvoja modela troškova životnog ciklusa, unutar kojega postoji nekoliko faza (prikazano na slici 13). Prema (Hui i Mohammed, 2015.) prva faza je identifikacija troškovnih elemenata. Definirane troškovne elemente potrebno je grupirati prema relevantnoj kategoriji troškova. Kada se identificiraju relevantne kategorije troškova, potrebno je razviti strukturu troška. Naposljetku, na temelju razvijene strukture troškova može se razviti model troškovna životnog ciklusa građevine.

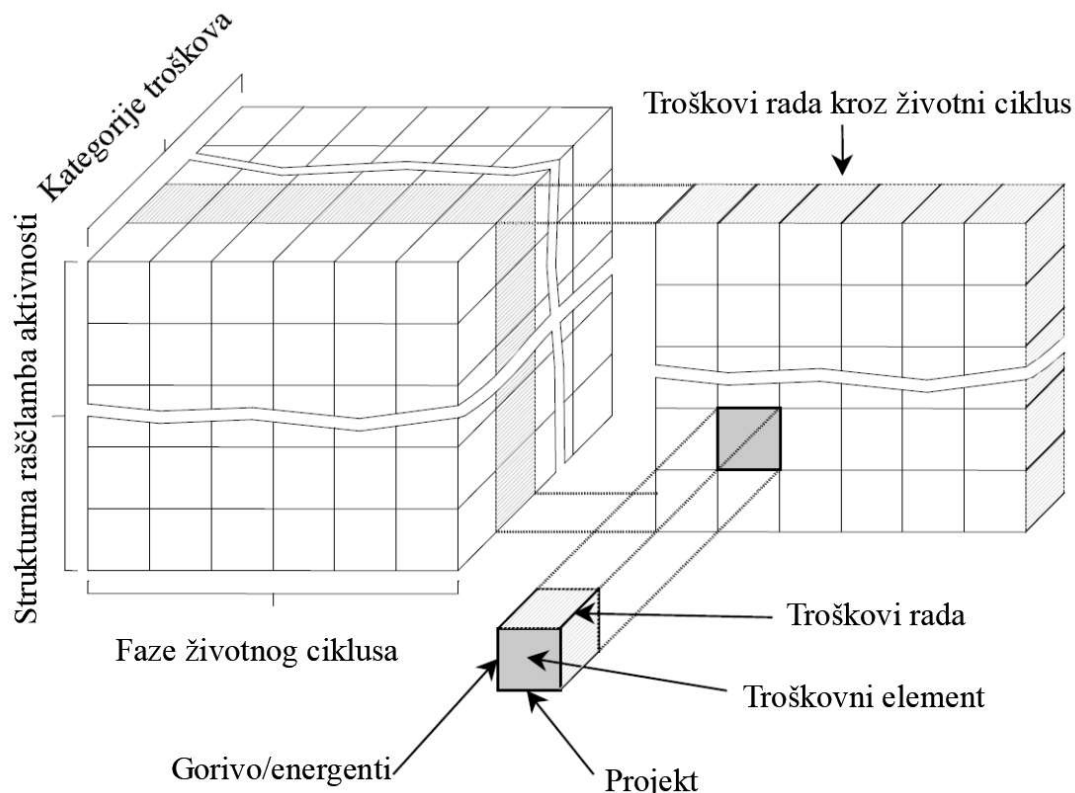


Slika 13. Proces razvoja modela izračuna troškova (oblikovao autor prema radu (Hui i Mohammed, 2015.))

Jedan od načina rješavanja složenosti i navedenih ograničenja jest korištenje koncepta troškova koji je naveden u radu (Kishk i dr., 2003.). Takav se koncept može prikazati trodimenzionalnom matricom, kao što je prikazano na slici 14. Navedeni koncept uključuje identifikaciju sljedećih aspekata proizvoda/rada:

- Razvrstavanje proizvoda na niže razine kategorija;
- Vrijeme u životnom ciklusu kada se rad/aktivnost provodi;
- Kategorije troškova primjenjivih resursa kao što su rad, materijali, gorivo/energenti itd.

Ovakav pristup osigurava sustavnost i organiziranost, dajući visok stupanj pouzdanosti da su u kalkulaciju uključeni svi bitni troškovi.



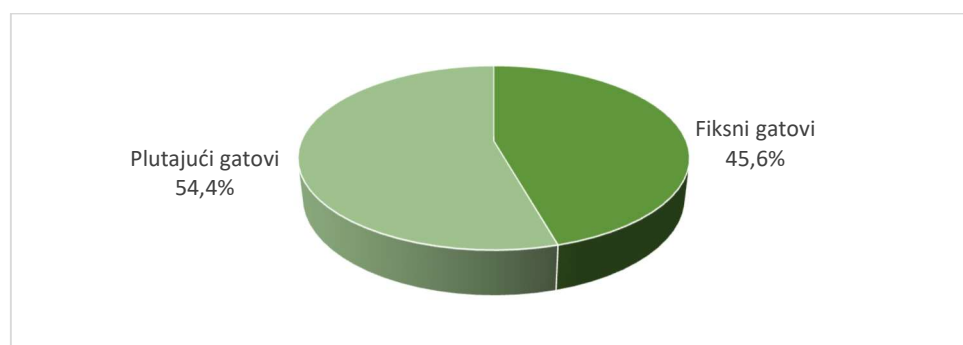
Slika 14. Prikaz troškovnih elemenata (oblikovao autor prema radu (Kishk i dr., 2005.))

Troškovi povezani s različitim elementima mogu se dodijeliti između ponavljajućih i neponavljajućih troškova ili razložiti na detaljne troškove iz godine u godinu. Na taj se način može upotrijebiti odgovarajući matematički model za predviđanje ukupnih troškova životnog ciklusa. Trebalo bi uspostaviti i održavati bazu podataka, kako bi se zabilježili rezultati različitih analiza troškova, koji bi poslužili kao izvor povratnih iskustvenih informacija. Na ovaj način, strukturalna raščlamba troškova može se smatrati standardnim okvirom unutar kojega se troškovi mogu pratiti i povezivati s početkom projekta kroz faze izgradnje i uporabe.

4.2. Prikupljanje i obrada podataka

U Republici Hrvatskoj je u vrijeme istraživanja, do kolovoza 2019. godine bilo aktivno 68 marina, od kojih njih 37 (54,4 %) zadovoljava kriterij odabira – marine čiji su gatovi plutajući, sidreni sustavom sidrenih blokova i lanaca/užeta (slika 15).

Ostale marine (njih 31, odnosno 45,6 %) ne zadovoljavaju jer su pontoni u marini sidreni fiksno, na pilotima ili kao u Marini Punat na željezničkim šinama. Kako je jedan dio poslovne djelatnosti autora usko vezan uz održavanje pontona, istraživanjem su obuhvaćene marine s pontonskim gatovima (što predstavlja više od pola marina u RH). Prikupljanje podataka je bilo tim lakše iz jednostavnog razloga što je autor poslovno i stručno povezan uz održavanje pontona i njegovih dijelova te je pristup podacima o održavanju marina bio više dostupan. Kako bi se definirala baza podataka o troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine, svim je marinama poslana zamolba za pristup podacima uz poveznicu na anketni upitnik.



Slika 15. Odnos udjela marina RH s plutajućim i fiksnim gatovima

Kao početna godina za koju su se tražili podaci uzeta je 2008. godina, prva poslovna godina u kojoj je Zakonom o registru svima dostupna i javno objavljena dokumentacija poslovnih subjekata Republike Hrvatske (godišnji financijski izvještaji, godišnja izvješća, revizorska izvješća te podaci o raspodjeli dobiti ili pokriću gubitka). Posljednja analizirana godina je 2018. godina, s obzirom da je istraživanje provedeno 2019. godine, za istu podaci još nisu bili dostupni u cijelosti. Molba za pristup podacima sadržavala je uz upitnik i Izjavu o povjerljivosti kojom se jamči sigurnost dobivenih podataka i obrada podataka isključivo u svrhu navedenog istraživanja.

Anketni upitnik (nalazi se u Prilogu 1 ovog rada) sastoji se od pet dijelova u kojima su se tražili sljedeći podaci:

1. Opći podaci o marini
2. Planiranje održavanja marine
3. Podaci o pontonima i sidrenom sustavu marine
4. Podaci o uporabi marine
5. Podaci o troškovima životnog ciklusa.

Unutar dijela općih podataka traženi su podaci o poslovnom subjektu koji upravlja marinom, godini završetka izgradnje marine te projektnim parametrima marine (površini morskog dijela koncesije, ukupnoj duljini gatova, broju vezova prema duljini plovila).

Dio upitnika o planiranju održavanja marine sadrži pitanja o planiranju i važnosti održavanja marine, planiranju nadogradnje ili rekonstrukcije marine te predviđanju broja plovila. U dijelu o pontonima i sidrenom sustavu marine traženi su podaci o vrsti pontona, vrsti hodne površine, sidrenom sustavu pontona i sidrenom sustavu plovila. Upitnik sadrži i dio o uporabi marine, gdje se traži broj korisnika, zaposlenika i informacije o radu u marini. Zadnji dio upitnika traži podatke o različitim skupinama troškova unutar troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine:

- troškovi periodičkih i inspekcijskih pregleda,
- troškovi zamjene istrošenih materijala i elemenata,
- troškovi periodičkih radova i popravaka,
- troškovi uporabe.

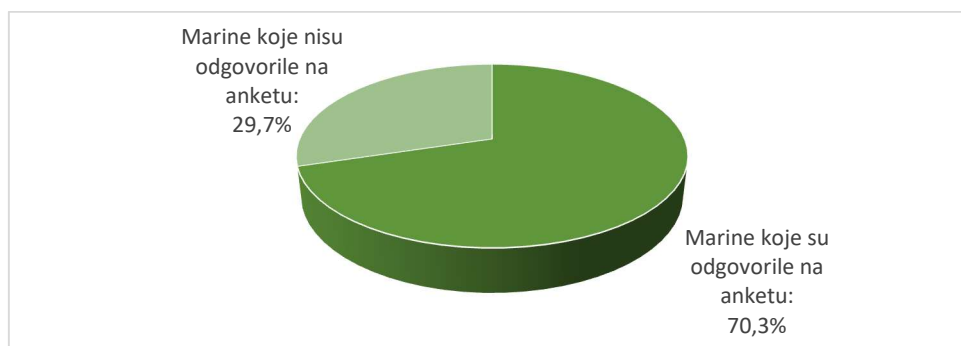
Tablica 4 prikazuje popis marina koje imaju plutajuće gatove u Republici Hrvatskoj, kojima je poslan anketni upitnik tijekom 2019. godine.

Tablica 4 Marine s plutajućim gatovima u Republici Hrvatskoj

RB	NAZIV
1	Marina Nautica
2	Marina Červar Porat
3	Marina Funtana
4	Marina Vrsar
5	ACI Marina Rovinj
6	ACI Marina Pula
7	ACI Marina Pomer
8	ACI Marina Cres
9	ACI Marina Supetarska Draga
10	ACI Marina Rab
11	Marina Lošinj
12	Marina Mali Lošinj
13	Marina Borik
14	Marina Veli Rat
15	Marina Olive island
16	Tankerkomerc Marina Zadar
17	Marina Kornati
18	Marina Betina
19	ACI Marina Piškera
20	ACI Marina Skradin
21	D-MARIN Marina Madalina
22	Marina Kremik
23	Marina Frapa
24	Marina Agana
25	ACI Marina Trogir
26	Marina Trogir
27	Marina Baotić
28	Marina Kaštela
29	ACI Marina Milna
30	Marina Tučepi
31	ACI Marina Vrboska
32	ACI Marina Palmižana
33	Marina Solaris
34	Marina Vlačka
35	Marina Lav
36	Marina Baška Voda
37	ACI Marina Slano

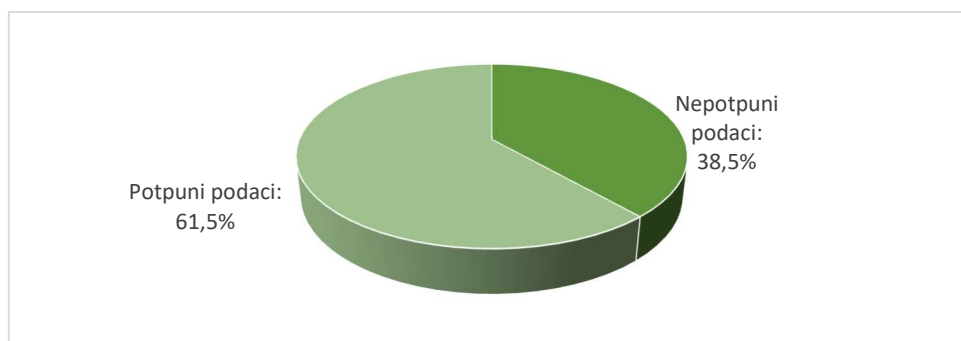
4.3. Odaziv na anketu i prikupljeni podaci

Podaci koji su prikupljeni tijekom 2019. godine analizirani su i statistički obrađeni, što je prikazano u nastavku rada. Među odgovorima marina koje su dostavile ispunjeni upitnik bilo je nepotpunih podataka, a nakon usmenog telefonskog i terenskog prikupljanja i obrade podataka, konačni odaziv marina na anketu prikazan je na slici 16. Od ukupnog broja od 37 marina koje odgovaraju kriteriju odabira, marine koje su odgovorile na anketu bilo je 26, odnosno 70,3 %, dok od 11 marina (29,7 %) nije dobiven odgovor.



Slika 16. Odaziv na anketu marina s pontonima u RH

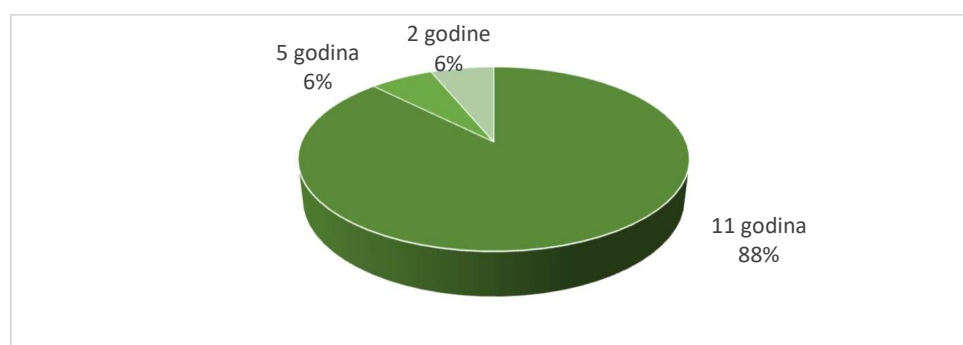
Slika 17 prikazuje strukturu valjanosti prikupljenih podataka marina koje su sudjelovale u istraživanju. Od 26 marina koje su odgovorile na anketni upitnik, njih 10, odnosno 38,5 % nije dostavilo potpune podatke, čak ni nakon terenskog anketiranja. Potpune podatke, s kojima se nastavilo istraživanje dostavilo je 16 marina (61,5 %).



Slika 17. Struktura vrijednosti dostavljenih podataka

Broj godina, odnosno referentno razdoblje za koje su dostavljeni podaci o troškovima kretalo se od 3 do 11 godina, ovisno o tome kada je marina izgrađena i puštena u rad.

Troškovi životnog ciklusa marina prikupljani su na godišnjoj razini. Raspodjela marina prema referentnom razdoblju (broju godina) za koju su prikupljeni troškovi životnog ciklusa za ukupno 16 marina koje su dostavile potpune podatke prikazana je na slici 18.



Slika 18. Struktura podataka prema broju godina za koji su dostavljeni potpuni podaci

Problem prikupljanja ovakve vrste podataka potvrdio se i u ovom istraživanju, kao i nekim dosadašnjim (Davis Langdon Management Consulting, 2007.; Krstić, 2011.). Podatke je bilo gotovo nemoguće prikupiti online anketom koja je poslana uz Izjavu o povjerljivosti. Nešto više uspjeha se ostvarilo terenskim prikupljanjem podataka, međutim i dalje se ovakva vrsta podataka smatra tajnim i komercijalno osjetljivim, čak i u marinama koje u svojoj vlasničkoj strukturi imaju kao suvlasnika ili vlasnika Republiku Hrvatsku. Nakon prikupljanja podataka pristupilo se njihovoj obradi. Iz prikupljenih podataka o troškovima i ulaganjima izračunate su godišnje vrijednosti troškova životnog ciklusa. Ukupna vrijednost troškova podijeljena je se s referentnim razdobljem (godinama za koje su prikupljeni troškovi) svake marine kako bi se dobili prosječni godišnji nominalni troškovi životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marina.

Kao i s podacima o ukupnoj vrijednosti troškova i broj korisnika marine podijeljen je s referentnim razdobljem kako bi se dobio prosječni broj korisnika po godini. Ostali podaci, kao što su broj vezova po duljini plovila, duljina i broj gatova, nisu se mijenjali tijekom referentnog razdoblja.

Što se tiče klimatološko-geografskih varijabli (temperatura mora, vjetar i morske mijene) napravljena je analiza vrijednosti na području Jadranskog mora Republike Hrvatske. Vrijednosti temperature mora, utjecaja vjetra i utjecaja morskih mijena procijenjene su uporabom dostupnih povijesnih statističkih podataka i podataka dobivenih na bazi satelitskog praćenja:

- Atlas vjetra Državnog hidrometeorološkog zavoda (Bajić i dr., 2007.),
- internetske stranice Aviso+, Windy App i Wisuki (Wisuki App, 2014.; Windy App, 2015.; *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data - AVISO+*, 2020.) i
- objavljenih znanstvenih i stručnih radova (Janeković i Kuzmić, 2005; Grgić, 2017.).

Istraživanjem gore navedene dostupne literature ustanovljena je najviša i najniža prosječna vrijednost vjetra, temperature mora i amplitude plima-oseka na području marina u Republici Hrvatskoj. Podaci temperature mora prikupljeni su na mjesečnoj bazi, a podaci o vjetru i amplitudi plime i oseke prikupljeni su na godišnjoj bazi, nakon čega se napravio prosjek vrijednosti. U tablici 5 prikazane su prikupljene prosječne vrijednosti klimatološko-geografskih parametara – temperature mora i amplitude plime, na temelju kojih se odredila vrijednost na Likertovoj skali za potrebe analize i obrade podataka. Na temelju dobivenih podataka utvrđen je minimum i maksimum vrijednosti na području svih marina Republike Hrvatske – brojem 1 označila se najniža vrijednost, a brojem 5 najviša. Potom se za svaku od varijabli – temperaturu mora, utjecaj vjetra i utjecaj morskih mijena – dodijelila vrijednost u skali od 1 – 5 na svakoj lokaciji marine u ovisnosti od minimalne i maksimalne vrijednosti. Vrijednost utjecaja vjetra napravljena je prema grafičkim priložima o prosječnoj jačini i učestalosti vjetra na temelju dostupne literature. Obrada podataka napravljena je na primjeru doktorskih disertacija (Al-Hajj, 1991; Krstić, 2011.).

Tablica 5 Određivanje vrijednosti klimatološko-geografskih parametara

REDNI BROJ MARINE	PROSJEČNA TEMPERATURA MORA		PROSJEČNA AMPLITUDA PLIMA-OSEKA	
	[°C]	[skala 1-5]	[cm]	[skala 1-5]
MARINA 1	17,0	2	18,0	4
MARINA 2	17,0	2	18,0	4
MARINA 3	17,7	3	14,0	3
MARINA 4	17,7	3	12,0	3
MARINA 5	18,0	4	10,0	2
MARINA 6	18,0	4	7,5	2
MARINA 7	18,0	4	8,0	2
MARINA 8	18,6	4	5,0	1
MARINA 9	18,2	4	2,0	1
MARINA 10	18,5	4	8,0	2
MARINA 11	18,5	4	9,0	2
MARINA 12	18,5	4	8,5	2
MARINA 13	19,1	5	10,0	2
MARINA 14	18,5	4	8,0	2
MARINA 15	17,0	2	9,0	2
MARINA 16	17,5	3	18,0	4

Iz prikupljenih podataka, pregledom dosadašnjih istraživanja i analizom, definirana je baza podataka neovisnih varijabli koje se mogu smatrati relevantnima za definiranje modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava pontona i plovila. Popis neovisnih varijabli prikazan je u tablici 6.

Tablica 6 Popis mogućih neovisnih varijabli modela procjene troškova životnog ciklusa

VARIJABLA	OPIS VARIJABLE	JEDINICA MJERE
v1	Temperatura mora	skala 1-5
v2	Utjecaj vjetra	skala 1-5
v3	Utjecaj morskih mijena	skala 1-5
v4	Površina morskog obuhvata koncesije	m ²
v5	Broj pontonskih gatova	br
v6	Duljina pontonskih gatova	m'
v7	Drvena hodna površina	da/ne
v8	Ukupan broj pontonskih vezova	br
v9	Broj vezova za plovila duljine od 5-8 m	br
v10	Broj vezova za plovila duljine od 8-10 m	br
v11	Broj vezova za plovila duljine od 10-12 m	br
v12	Broj vezova za plovila duljine od 12-15 m	br
v13	Broj vezova za plovila duljine od 15-19 m	br
v14	Broj vezova za plovila duljine veće od 19 m	br
v15	Prosječni broj korisnika	br
v16	Broj pregleda u 10 godina	br
v17	Troškovi koncesije	kn

U tablici 7 prikazane su vrijednosti ukupnih i prosječnih godišnjih troškova uporabe i troškova životnog ciklusa za sve marine iz uspostavljene baze podataka o troškovima. Prikupljeni troškovi su prema literaturi (Medanić i dr., 2005; Čulo, 2010.) svedeni na sadašnju vrijednost metodom neto sadašnje vrijednosti, uvažavajući vremensku vrijednost novca s diskontnom stopom za prosinac 2018. godine koja iznosi 1,30 %. Diskontna stopa dobivena je na temelju važeće referentne kamatne stope, na koju se prema smjernicama Europske komisije dodaje 100 baznih bodova (engl. *basis points*) (European Commission, 2018.).

Baza podataka generirana iz tablice 7 korištena je za statističku obradu podataka. U tablici 8 prikazani su prikupljeni podaci neovisnih i ovisnih varijabli, odnosno projektnih i klimatološko-geografskih parametara i troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine. U prilogu 2 ovoga rada nalaze se podaci o svim prikupljenim troškovima za 16 analiziranih marina podijeljenih na grupe troškova periodičkih pregleda, zamjene istrošenih materijala i periodičkih radova i popravaka te na troškove uporabe.

Tablica 7 Diskontirani prosječni godišnji i diskontirani ukupni troškovi životnog ciklusa

GRUPA TROŠKOVA	UKUPNI DISKONTIRANI TROŠKOVI	PROSJEČNI GODIŠNJI DISKONTIRANI TROŠKOVI
MARINA 1 (M1)		
TROŠKOVI UPORABE	7.523.026,96 kn	683.911,54 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	12.217.524,87 kn	1.110.684,08 kn
MARINA 2 (M2)		
TROŠKOVI UPORABE	17.248.030,89 kn	1.568.002,81 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	30.621.140,31 kn	2.783.740,03 kn
MARINA 3 (M3)		
TROŠKOVI UPORABE	12.808.615,07 kn	1.164.419,55 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	29.107.703,87 kn	2.646.154,90 kn
MARINA 4 (M4)		
TROŠKOVI UPORABE	10.337.653,35 kn	939.786,67 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	22.854.498,62 kn	2.077.681,69 kn
MARINA 5 (M5)		
TROŠKOVI UPORABE	26.904.013,06 kn	2.445.819,37 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	44.337.572,01 kn	4.030.688,36 kn
MARINA 6 (M6)		
TROŠKOVI UPORABE	11.216.336,16 kn	1.019.666,92 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	18.127.692,72 kn	1.647.972,07 kn
MARINA 7 (M7)		
TROŠKOVI UPORABE	6.614.301,27 kn	601.300,12 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	7.604.166,78 kn	691.287,89 kn
MARINA 8 (M8)		
TROŠKOVI UPORABE	9.209.397,22 kn	837.217,93 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	11.009.391,16 kn	1.000.853,74 kn
MARINA 9 (M9)		
TROŠKOVI UPORABE	14.464.600,07 kn	1.314.963,64 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	26.372.493,13 kn	2.397.499,38 kn
MARINA 10 (M10)		
TROŠKOVI UPORABE	5.039.768,84 kn	458.160,80 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	11.486.741,69 kn	1.044.249,24 kn
MARINA 11 (M11)		
TROŠKOVI UPORABE	5.522.191,08 kn	502.017,37 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	10.375.243,03 kn	943.203,91 kn
MARINA 12 (M12)		
TROŠKOVI UPORABE	9.791.657,79 kn	890.150,71 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	12.132.916,59 kn	1.102.992,42 kn
MARINA 13 (M13)		
TROŠKOVI UPORABE	5.567.921,96 kn	1.113.584,39 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	18.998.093,30 kn	3.799.618,66 kn
MARINA 14 (M14)		
TROŠKOVI UPORABE	17.757.328,00 kn	1.614.302,55 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	30.851.539,06 kn	2.804.685,37 kn
MARINA 15 (M15)		
TROŠKOVI UPORABE	3.082.682,46 kn	1.541.341,23 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	3.446.626,83 kn	1.723.313,42 kn
MARINA 16 (M16)		
TROŠKOVI UPORABE	11.517.083,50 kn	1.047.007,59 kn
TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	23.421.775,82 kn	2.129.252,35 kn

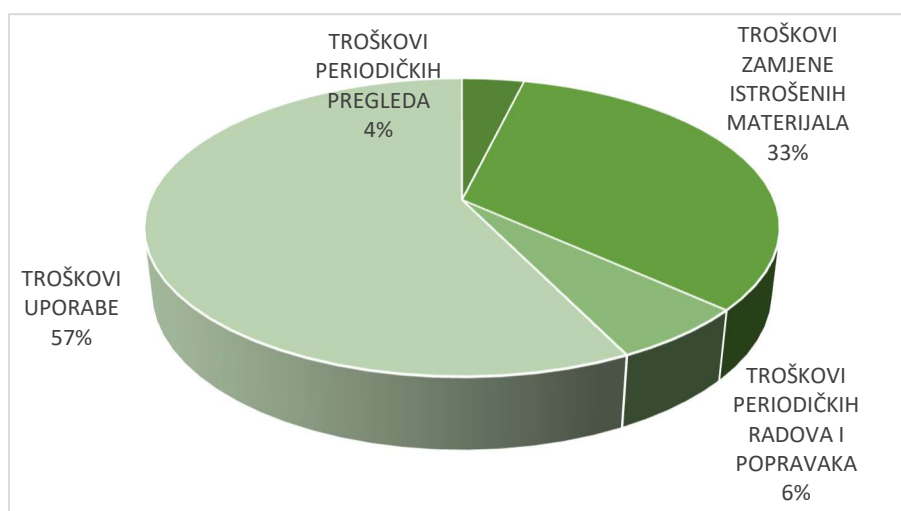
Tablica 8 Baza podataka neovisnih i ovisnih varijabli

MARINE	Marina 1	Marina 2	Marina 3	Marina 4	Marina 5	Marina 6	Marina 7	Marina 8	Marina 9	Marina 10	Marina 11	Marina 12	Marina 13	Marina 14	Marina 15	Marina 16
Temperatura mora	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	2	3
Utjecaj vjetra	3	2	1	2	4	2	2	3	1	1	3	2	1	2	4	3
Utjecaj morskih mijena	4	4	3	3	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	4
Površina morskog obuhvata koncesije	40.607,0	38.074,0	25.283,0	40.912,0	100.876,4	54.345,0	14.038,6	21.052,0	30.617,0	23.912,0	14.169,0	27.412,0	54.949,0	18.169,0	34.311,0	51.433,0
Broj pontonskih gatova	3	7	4	4	7	6	4	5	5	2	2	2	5	7	4	8
Duljina pontonskih gatova	265,1	552,0	450,0	379,0	930,0	705,0	265,0	284,0	586,0	79,0	150,0	328,0	588,0	417,0	456,0	440,0
Drvena hodna površina	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
Ukupan broj pontonskih vezova	157	275	185	211	427	284	132	113	163	44	78	119	193	121	204	323
Broj vezova za plovila duljine od 5-8 m	5	22	5	66	59	88	9	13	10	3	1	0	2	10	36	11
Broj vezova za plovila duljine od 8-10 m	38	53	2	61	7	89	19	22	21	11	8	4	29	21	44	42
Broj vezova za plovila duljine od 10-12 m	56	86	26	27	66	20	29	2	42	18	15	52	56	0	100	105
Broj vezova za plovila duljine od 12-15 m	58	59	24	57	267	69	49	57	68	12	43	63	36	68	15	162
Broj vezova za plovila duljine od 15-19 m	0	31	118	0	16	18	16	14	16	0	5	0	47	16	9	3
Broj vezova za plovila duljine veće od 19 m	0	24	10	0	12	0	10	5	6	0	6	0	23	6	0	0
Prosječni broj korisnika	53.954	99.499	56.131	64.047	108.237	68.719	7.299	3.714	42.522	11.284	18.910	10.244	38.163	64.078	13.437	86.245
Broj pregleda u 10 godina	13	13	15	11	60	20	20	10	12	14	23	12	16	12	10	12
Troškovi koncesije	88.351,69	155.262,74	302.935,48	169.300,22	398.335,76	186.418,98	161.071,51	173.293,79	390.866,02	186.699,95	168.952,55	347.415,45	342.293,08	495.106,27	580.319,18	230.538,01
PROSJEČNI GODIŠNJI DISKONTIRANI TROŠKOVI UPORABE	683.911,54	1.568.002,81	1.164.419,55	939.786,67	2.445.819,37	1.019.666,92	601.300,12	837.217,93	1.314.963,64	458.160,80	502.017,37	890.150,71	1.113.584,39	1.614.302,55	1.541.341,23	1.047.007,59
PROSJEČNI GODIŠNJI DISKONTIRANI TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA	1.110.684,08	2.783.740,03	2.646.154,90	2.077.681,69	4.030.688,36	1.647.972,07	691.287,89	1.000.853,74	2.397.499,38	1.044.249,24	943.203,91	1.102.992,42	3.799.618,66	2.804.685,37	1.723.313,42	2.129.252,35

4.4. Statistička obrada podataka

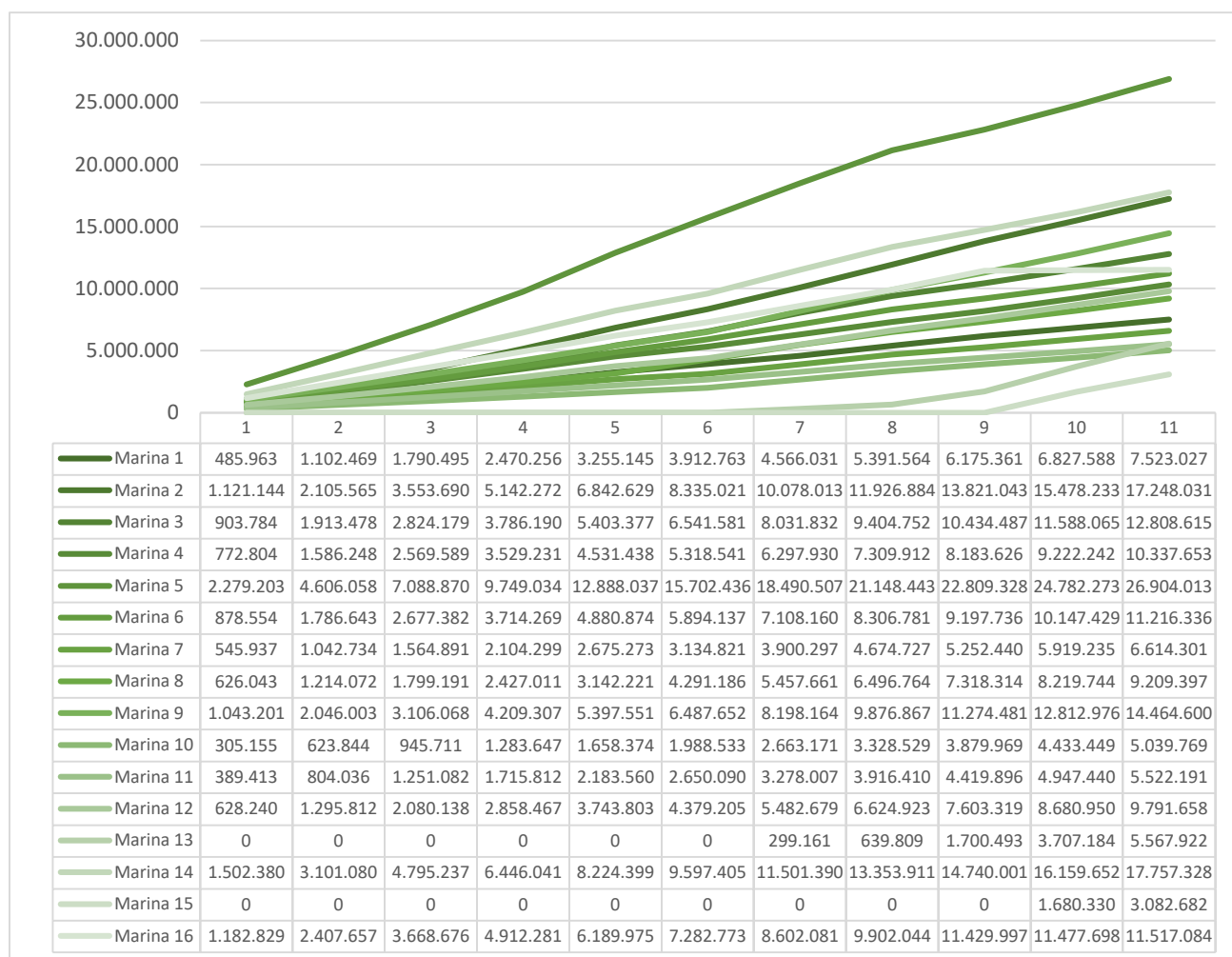
4.4.1. Odabir statističke metode i varijabli modela

Na temelju prikupljenih podataka napravljena je deskriptivna analiza. Prvi korak analize bio je utvrđivanje udjela pojedinih skupina troškova prije razvoja samih modela procjene. Izračunati su udjeli pojedinih skupina troškova u ukupnim troškovima životnog ciklusa na bazi 16 analiziranih marina. Prikaz udjela troškova dan je na slici 19.



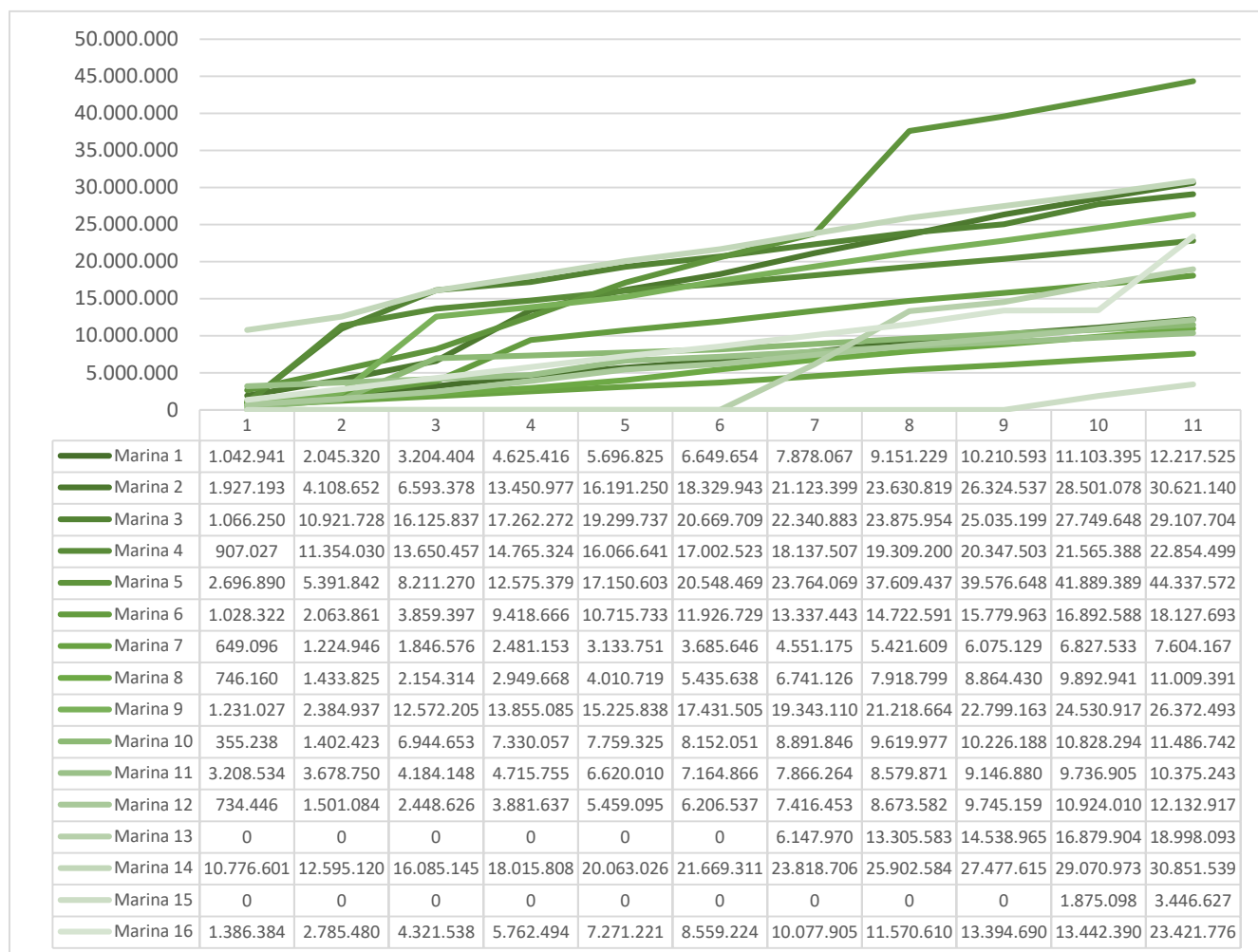
Slika 19. Prikaz udjela pojedinih skupina troškova u prosječnim nominalnim troškovima životnog ciklusa

Na slici 20 grafički su prikazani kumulativni diskontirani troškovi uporabe (u kunama) analiziranih 16 marina. Troškovi su prikazani za svaku godinu u razdoblju od 11 godina referentnog razdoblja.



Slika 20. Prikaz kumulativnih troškova uporabe pontona i sidrenog sustava za razdoblje od 2008. do 2018.

Sukladno tablici 7 na slici 21 grafički su prikazani kumulativni diskontirani troškovi životnog ciklusa (u kunama) analiziranih 16 marina za referentno razdoblje od 11 godina.



Slika 21. Prikaz kumulativnih troškova životnog ciklusa za razdoblje od 2008. do 2018.

Cilj istraživanja ove doktorske disertacije je iskoristiti prikupljene podatke za razvoj modela koji može predvidjeti troškove životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine, odnosno njihove troškove uporabe te potom interpretirati rezultate da bi se pronašli čimbenici koji u najvećoj mjeri utječu na rezultat. Odabir metode i varijabli modela proveo se posebno za:

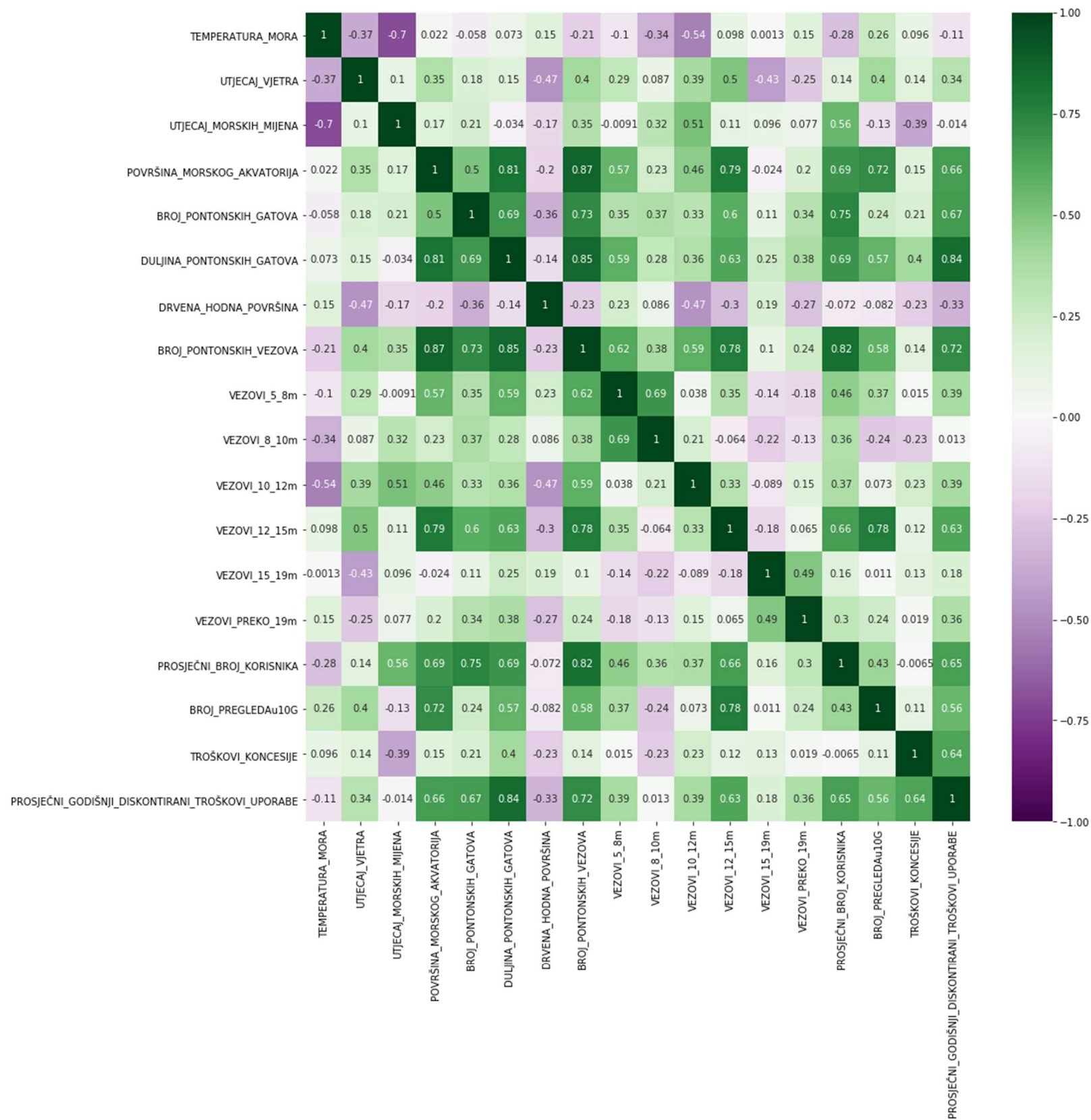
- razvoj modela procjene troškova uporabe pontona i sidrenog sustava marine i
- za razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine.

Podaci uključuju većinom kontinuirane numeričke varijable te postoji pristup podacima o ovisnim i neovisnim varijablama, što razvoj ovog modela čini regresijskim strojnim učenjem pod nadzorom. Cilj modeliranja je razvoj što točnijeg interpretativnog modela koji može predvidjeti

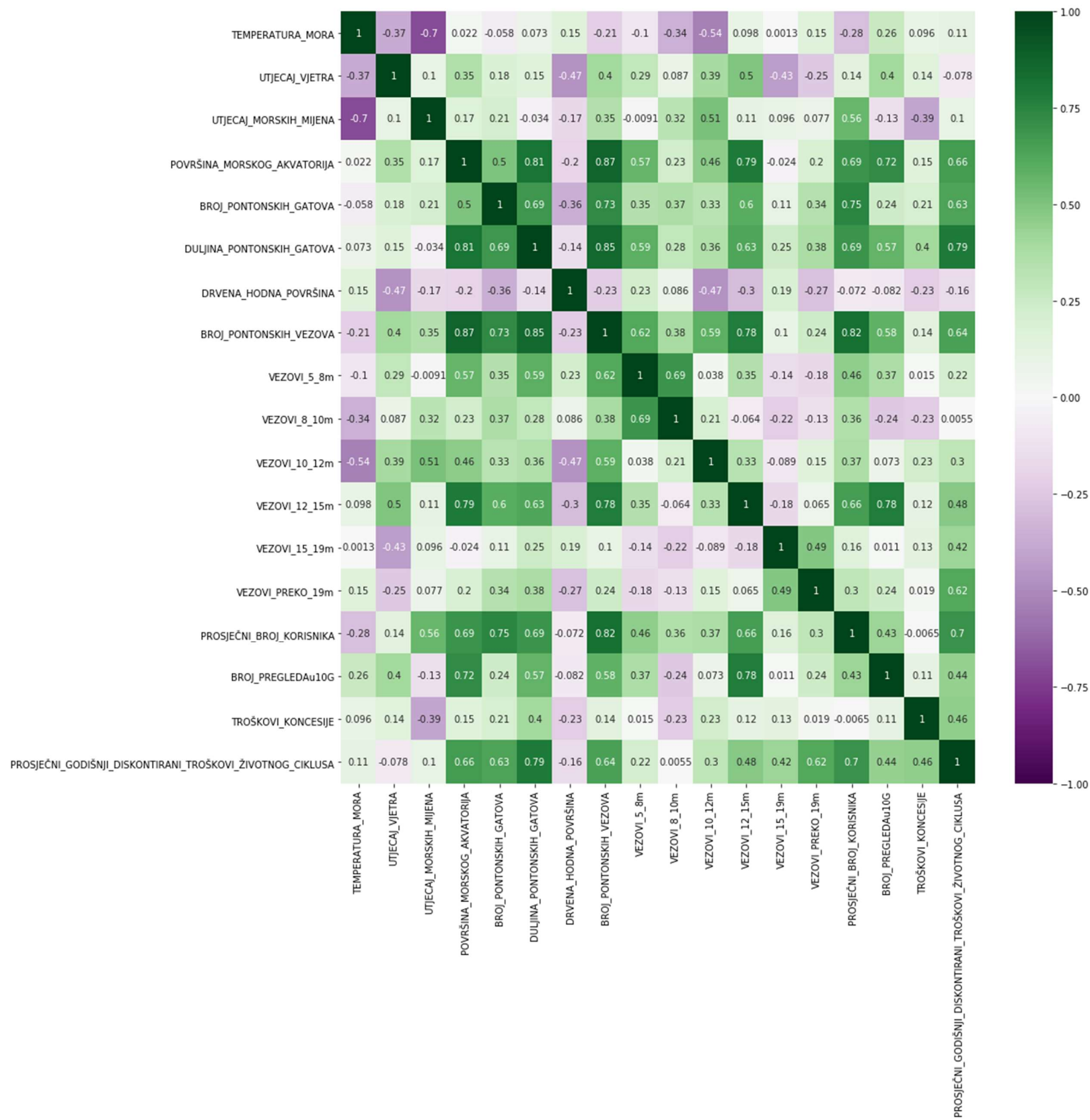
troškove bliske pravim vrijednostima, a iz kojeg se može razumjeti predviđanje modela te upravljati troškovima i unaprijediti proces donošenja odluka u upravljanju i održavanju marina.

Kako bi se podaci analizirali i kako bi se preliminarno odredila veličina utjecaja pojedinih neovisnih varijabli na ovisne varijable, pomoću programskog jezika Python korištena je istraživačka analiza podataka (engl. *Exploratory Data Analysis* – EDA). Python je interaktivni, objektno orijentirani programski jezik. Uključuje module, iznimke, dinamičko tipkanje, dinamičke vrste podataka vrlo visoke razine i klase. Programski jezik kombinira izuzetnu snagu s vrlo jasnom sintaksom. Razvijena sučelja namijenjena su korištenju mnogih operativnih baza podataka, kao i za razne operativne sustave, a može se proširiti na C ili C++. Također je uporabljiv kao jezik proširenja za aplikacije kojima je potrebno programabilno sučelje (Python, 2001.). Zaklada Python Software je neovisna neprofitna organizacija koja polaže autorska prava na Python (verzije od 2.1. i novije). Misija Zaklade je unaprijediti tehnologiju otvorenog koda koja se odnosi na programski jezik Python i promidžbu uporabe Pythona. Analiza podataka (Behrens, 1997.) otvoreni je postupak analize koji se može okarakterizirati kao naglasak na razumijevanje podataka koji se bave širokim pitanjem „što se ovdje događa?“ te isticanje grafičke prezentacije podataka. EDA je usredotočena na stvaranje okvirnog modela i hipoteze u iterativnom procesu određivanja značajki modela uporabom robusnih mjera, ponovnim izražavanjem i analizom podskupina u pogledu koje metode primijeniti. Cilj analize podataka je otkriti anomalije, obrasce i odnose u podacima. Oni mogu biti sami po sebi zanimljivi (primjerice pronalaženje povezanosti između dvije varijable) ili se mogu upotrijebiti za informiranje o modeliranju odluka kao što su primjerice koje značajke modela koristiti (Koehrsen, 2018a).

Za kvantifikaciju korelacije između ovisnih i neovisnih varijabli izračunat je Pearsonov koeficijent korelacije – mjera snage i smjera linearnog odnosa između dvije varijable (Mukaka, 2012.). Na slikama 22 i 23 prikazane su vrijednosti korelacije svih neovisnih varijabli preliminarnog modela procjene troškova s ovisnim varijablama – troškovima uporabe, odnosno troškovima životnog ciklusa.



Slika 22. Korelacija neovisnih varijabli modela s troškovima uporabe



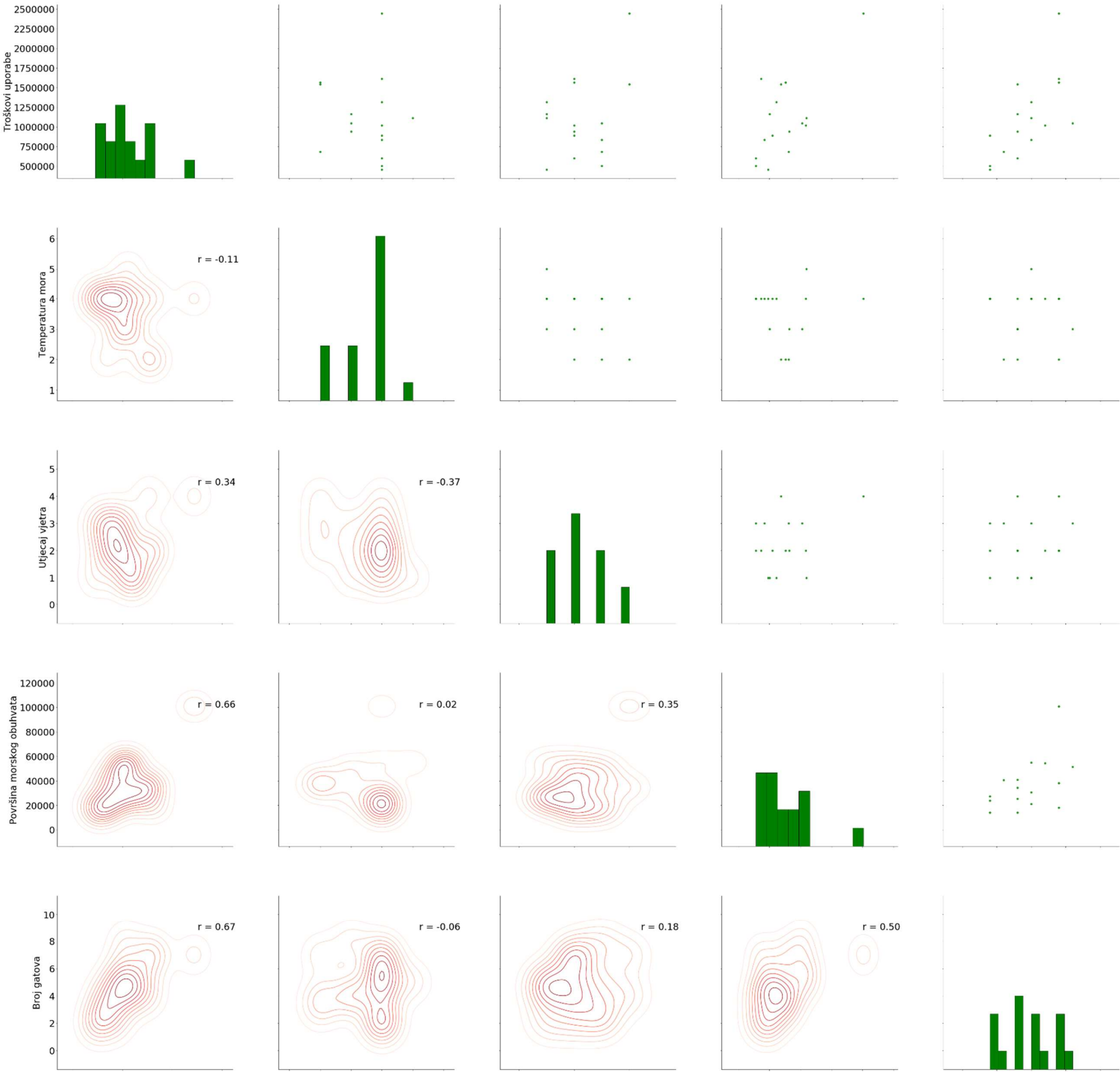
Slika 23. Korelacija neovisnih varijabli modela s troškovima životnog ciklusa

Prema grafičkom prikazu korelacije neovisnih varijabli modela s troškovima uporabe razvidno je da postoji nekoliko izraženijih korelacija između neovisnih varijabli i troškova, kao i nekoliko izraženih negativnih korelacija među neovisnim varijablama. Pozitivna korelacija označena je zelenom bojom, dok je negativna označena ljubičastom bojom radi bolje preglednosti i uočavanja odnosa. Iz grafičkog prikaza korelacije ovisnih i neovisnih varijabli razvidno je da klimatološko-geografski parametri ne utječu značajno na povećanje odnosno smanjenje troškova uporabe, što se vidi prema koeficijentima korelacije koji iznose od -0,11 za temperaturu mora do 0,34 za utjecaj vjetra. Najizraženija pozitivna korelacija nalazi se u odnosu troškova uporabe i duljine pontonskih gatova (koeficijent korelacije 0,84) i broja pontonskih vezova (koeficijent korelacije 0,72). Visoka vrijednost korelacije ukazuje na logičnu činjenicu: što su postavljeni pontoni dulji i imaju veći broj vezova, viši su i troškovi uporabe.

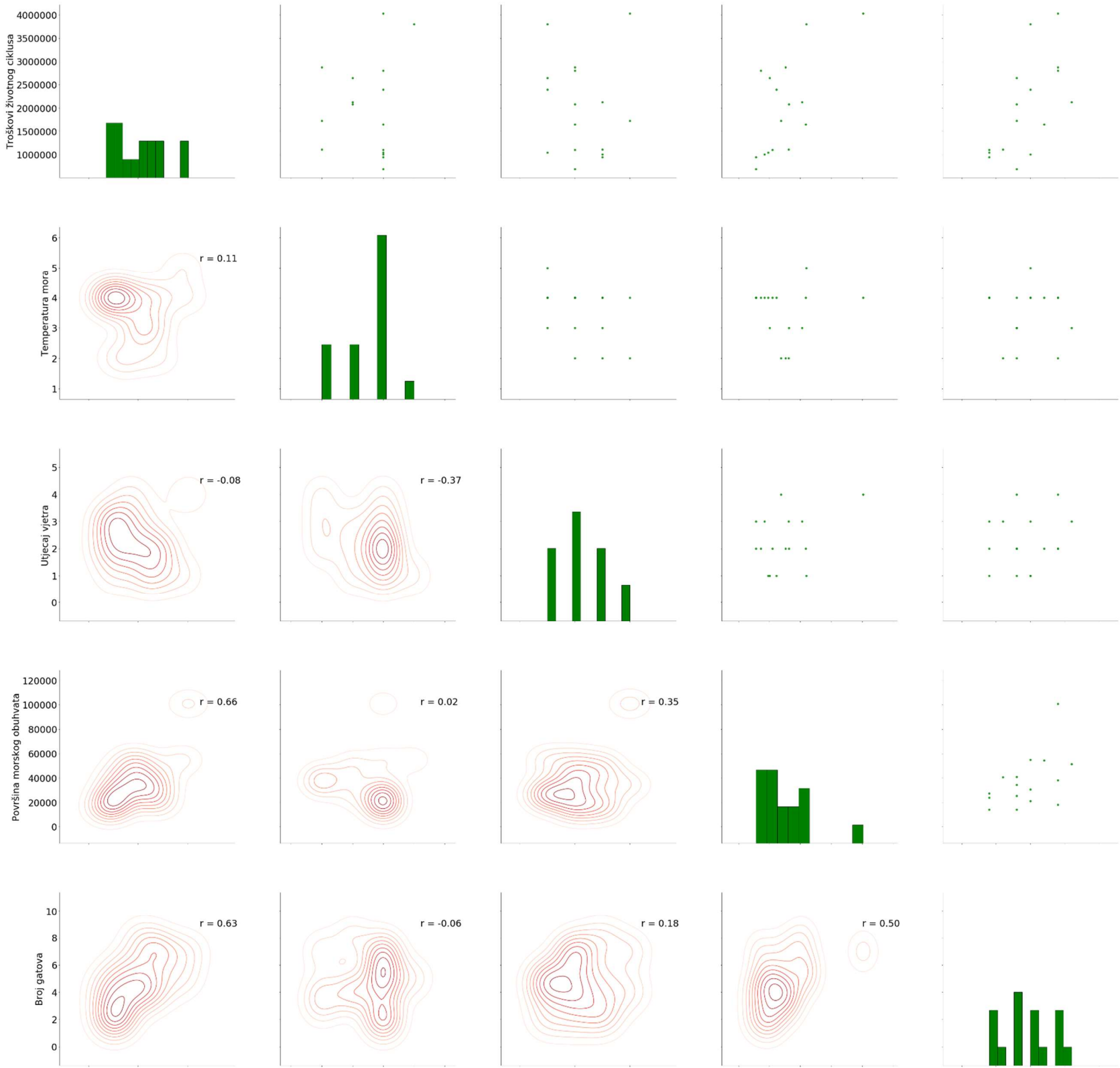
Na grafičkom prikazu korelacije neovisnih varijabli modela s troškovima životnog ciklusa na jednak način su označene pozitivna (označena zelenom bojom) i negativna korelacija (označena ljubičastom bojom). Iz grafičkog prikaza korelacije ovisnih i neovisnih varijabli i u ovom slučaju se vidi da klimatološko-geografski parametri ne utječu značajno na povećanje odnosno smanjenje troškova životnog ciklusa, s koeficijentima korelacije od -0,078 za utjecaj vjetra do 0,11 za temperaturu mora. Najizraženija pozitivna korelacija nalazi se u odnosu troškova životnog ciklusa i duljine pontonskih gatova (koeficijent korelacije 0,79) i prosječnog broja korisnika (koeficijent korelacije 0,7). Što su postavljeni pontoni dulji i imaju veći broj korisnika, viši su i troškovi životnog ciklusa.

Za bolje razumijevanje i prikaz odnosa među varijablama kao sljedeći korak istraživačke analize podataka korišten je grafički prikaz odnosa između više parova varijabli, kao i grafički prikaz raspodjele pojedinih varijabli. Iako postoji velik broj metoda koje se primjenjuju u istraživačkoj analizi podataka, jedan od najučinkovitijih polaznih alata je kombinacija grafičkih vizualizacija prikaza odnosa među varijablama (engl. *pairs plot*). Takvom vizualizacijom omogućen je uvid u raspodjelu pojedinih varijabli i odnos između dvije varijable. To je odlična metoda za prepoznavanje trendova za naknadnu analizu (Koehrsen, 2018d). Na slikama 24 i 25 djelomično je prikazana korištena kombinacija grafičkih vizualizacija prikaza odnosa među varijablama,

napravljena s programskim jezikom Python. Prikazana je djelomično, zbog velikog broja podataka, dok se u prilogu 3 ovoga rada nalazi cijela grafička vizualizacija. U gornjem trokutu grafičkog prikaza točkama su prikazane vrijednosti varijabli (engl. *scatter plot*), dijagonala prikaza obuhvaća histogram pojedine varijable, dok su u donjem trokutu prikazani 2D grafikoni gustoće jezgre i koeficijenti korelacije. U dijelu gdje se red presijeca sa stupcem može se iščitati odnos između varijabli. Primjerice, za iščitavanje koeficijenta korelacije troškova uporabe i temperature mora dovoljno je pogledati u red „Temperature mora“ i stupac „Troškovi uporabe“ te iščitati koeficijent korelacije -0,11. Uz pregledni prikaz različitih informacija, vizualizacije poput ove mogu pomoći u odlučivanju koje varijable će se uključiti u modeliranje.



Slika 24. Grafički prikaz dijela odnosa varijabli modela procjene troškova uporabe



Slika 25. Grafički prikaz odnosa varijabli modela procjene troškova životnog ciklusa

Nakon grafičkih prikaza napravljen je postupak odabira značajnijih varijabli, tako da su se uklonile neovisne varijable s najvišom međusobnom korelacijom (većom od 0,6). Vrijednost od 0,6 proizvoljno je odabrana prema autoru Koehrsenu (2018a), koji je eksperimentiranjem s više vrijednosti došao do zaključka da vrijednost od 0,6 daje najbolje rezultate. Uklanjanje kolinearnih varijabli rezultira razumljivijim i jednostavnijim modelom, s obzirom da u strojnom učenju postojanje kolinearnih varijabli dovodi do smanjenja učinkovitosti generalizacije modela na testnom skupu podataka zbog velike varijance i manje interpretativnosti modela (Koehrsen, 2018a). Jedna od jače izraženih negativnih korelacija s koeficijentom -0,7 je ona između temperature mora i utjecaja morskih mijena na troškove uporabe marine, što znači uklanjanje jedne od tih dviju varijabli iz daljnjeg modeliranja kako bi se povećala učinkovitost generalizacije modela. Od pozitivnih korelacija neovisnih varijabli vidi se jaka korelacija broja pontonskih vezova s površinom morskog akvatorija (koeficijent korelacije 0,87) i duljinom pontonskih gatova (koeficijent korelacije 0,85), što podrazumijeva uklanjanje varijable broja pontonskih vezova iz daljnjeg modeliranja. Kako duljina pontonskih gatova izraženo korelira i s drugim varijablama (površina morskog akvatorija – 0,81; broj pontonskih gatova – 0,69; broj vezova duljine 12-15 m – 0,63 te prosječni broj korisnika – 0,69) i ta varijabla uklonjena je za razvoj modela. Preostale varijable koje služe za formulaciju modela navedene su u sljedećim tablicama. U tablici 9 navedene su odabrane varijable za procjenu modela troškova uporabe i modela troškova životnog ciklusa.

U prilogu 3 se, uz grafičku vizualizaciju *pairs plot* nalazi i tablični i grafički prikaz deskriptivne analize svih varijabli.

Tablica 9 Popis odabranih varijabli za razvoj modela procjene troškova

ODABRANA VARIJABLA	OPIS VARIJABLE	JEDINICA MJERE
v1	Temperatura mora	skala 1-5
v2	Utjecaj vjetra	skala 1-5
v4	Površina morskog obuhvata koncesije	m ²
v5	Broj pontonskih gatova	br
v7	Drvena hodna površina	da/ne
v9	Broj vezova za plovila duljine od 5-8 m	br
v10	Broj vezova za plovila duljine od 8-10 m	br
v11	Broj vezova za plovila duljine od 10-12 m	br
v13	Broj vezova za plovila duljine od 15-19 m	br
v14	Broj vezova za plovila duljine veće od 19 m	br
v17	Troškovi koncesije	kn

4.5. Uspostava osnovnih modela

Nakon analize i obrade podataka te odabira varijabli pristupilo se izradi temeljnog izračuna – polazne točke za usporedbu svih dobivenih rezultata modeliranja. Ukoliko razvijeni modeli strojnog učenja ne rezultiraju povoljnijim ishodom od osnovnog rezultata, odabrano modeliranje nije prihvatljivo za razvoj modela procjene troškova uporabe i troškova životnog ciklusa. Metrika koja je korištena za usporedbu i ocjenu prihvatljivosti svih modela je srednja apsolutna pogreška (engl. *Mean Absolute Error* – MAE) koja mjeri prosječnu apsolutnu pogrešku u predviđanjima, s obzirom da je istu jednostavno izračunati i interpretirati. Analiza autora u radu (Willmott i Matsuura, 2005.) pokazuje da je MAE najprirodnija mjera prosječne veličine pogreške i predstavlja nedvosmisleni mjeru opsega prosječne pogreške. Srednja apsolutna pogreška računa se sljedećom jednadžbom (Chai i Draxler, 2014.):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (19)$$

gdje je

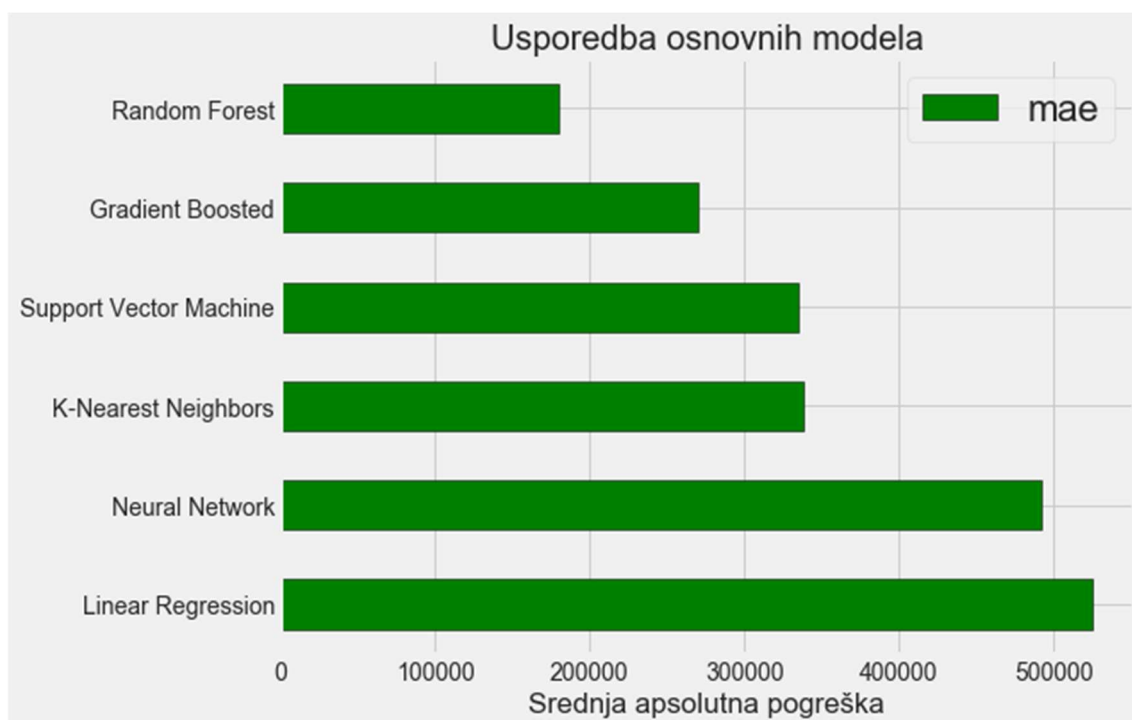
n = broj pogreški modela e ($e_i, i=1, 2, \dots, n$).

Prikupljeni podaci podijeljeni su u dva seta podataka – set podataka za treniranje modela strojnog učenja, te set podataka za testiranje modela. Svaka podjela podataka na setove za svaku iteraciju u modelima izvedena je nasumično, kako bi se dobili što točniji rezultati. Podjela se izvodila s koeficijentom 0.3, odnosno 30 % podataka od ukupne baze podataka dodijelilo se setu za testiranje modela, a preostali dio dodijeljen je setu za treniranje modela. Set podataka za treniranje određuje smjernice za razvoj i učenje modela tijekom faze treninga, uključujući i neovisne varijable koje pružaju odgovor modela (Koehrsen, 2018a). Cilj faze treniranja modela je učenje modela preslikavanjem između ovisnih varijabli i traženih troškova. Skup značajki seta podataka za testiranje modela koristi se za procjenu treniranog modela, pazeći pritom na strogo odvajanje seta za treniranje i seta za testiranje modela, tako da model ne uči na podacima testnog skupa podataka. Rezultat testiranja modela mora se moći predvidjeti koristeći isključivo značajke seta podataka za testiranje modela. Predviđanja modela se potom mogu usporediti s otprije poznatim prikupljenim troškovima, te se na temelju usporedbe izvode zaključci i eventualne smjernice za daljnju optimizaciju modela.

Strojno učenje predstavlja programiranje računala na način da optimiziraju određeni kriterij uspješnosti na temelju prikupljenih podataka ili prethodnog iskustva (Alpaydin, 2009.). Strojno učenje i dalje je polje vođeno ponajprije empirijskim, a ne teorijskim rezultatima, te je gotovo nemoguće unaprijed znati koji će model dati najpovoljnije rezultate (James i dr., 2013.; Koehrsen, 2018b). Postoji više vrsta nadziranog strojnog učenja (engl. *supervised learning*) čiji je cilj aproksimacija funkcije ovisnih varijabli (ulaznih parametara) i neovisne varijable (troškova), a eksplicitna informacija o varijablama je numerička, te je za početak razvoja modela procjene troškova napravljena usporedba šest različitih regresijskih algoritama koji pokrivaju širok spektar složenosti modela:

- Linearna regresija (engl. *Linear Regression* – LR),
- K-najbliži susjedi (engl. *K-Nearest Neighbors* – KNN),
- Slučajne šume (engl. *Random Forest* – RF),
- Podizanje gradijenta (engl. *Gradient Boosting* – GB),
- Algoritam potpornih vektora (engl. *Support Vector Machine* – SVM), te
- Neuronska mreža (engl. *Neural Network* – NN).

Na slici 26 prikazana je usporedba rezultata osnovnih modela regresijskih algoritama za procjenu modela troškova uporabe.



Slika 26. Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova uporabe

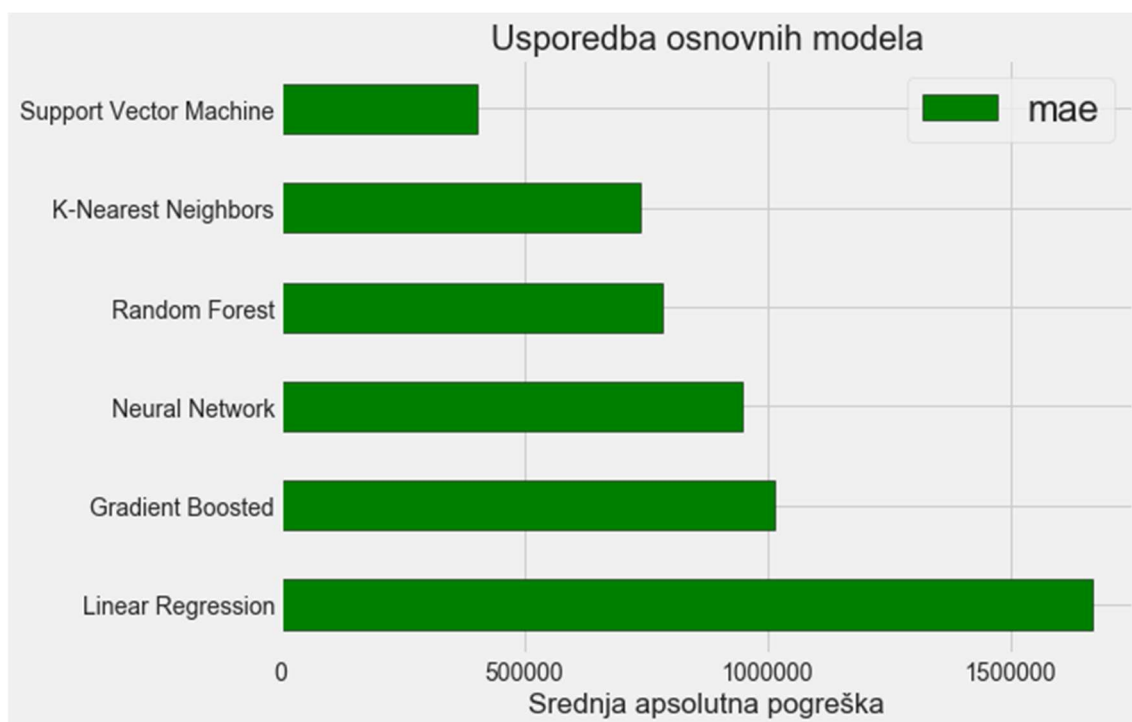
Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova uporabe pontona i sidrenog sustava marine pokazala je sljedeće vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) osnovnih modela:

- LR daje MAE u vrijednosti od 524.658,30 kn,
- KNN daje MAE u vrijednosti od 338.516,87 kn,
- RF daje MAE u vrijednosti od 180.337,98 kn,
- GB daje MAE u vrijednosti od 269.958,47 kn,
- SVM daje MAE u vrijednosti od 335.047,10 kn, te
- NN koja daje MAE u vrijednosti od 492.349,10 kn.

Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova uporabe prikazuje najpovoljniji rezultat korištenjem regresijskog algoritma slučajnih šuma, u iznosu srednje apsolutne pogreške od 180.337,98 kn.

Na slici 27 prikazana je usporedba rezultata osnovnih modela regresijskih algoritama za procjenu modela troškova životnog ciklusa. Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine pokazala je sljedeće vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) osnovnih modela:

- LR daje MAE u vrijednosti od 1.667.772,86 kn,
- KNN daje MAE u vrijednosti od 739.299,99 kn,
- RF daje MAE u vrijednosti od 784.465,71 kn,
- GB daje MAE u vrijednosti od 1.014.071,57 kn,
- SVM daje MAE u vrijednosti od 405.114,35 kn, te
- NN koja daje MAE u vrijednosti od 947.223,83 kn.



Slika 27. Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova životnog ciklusa

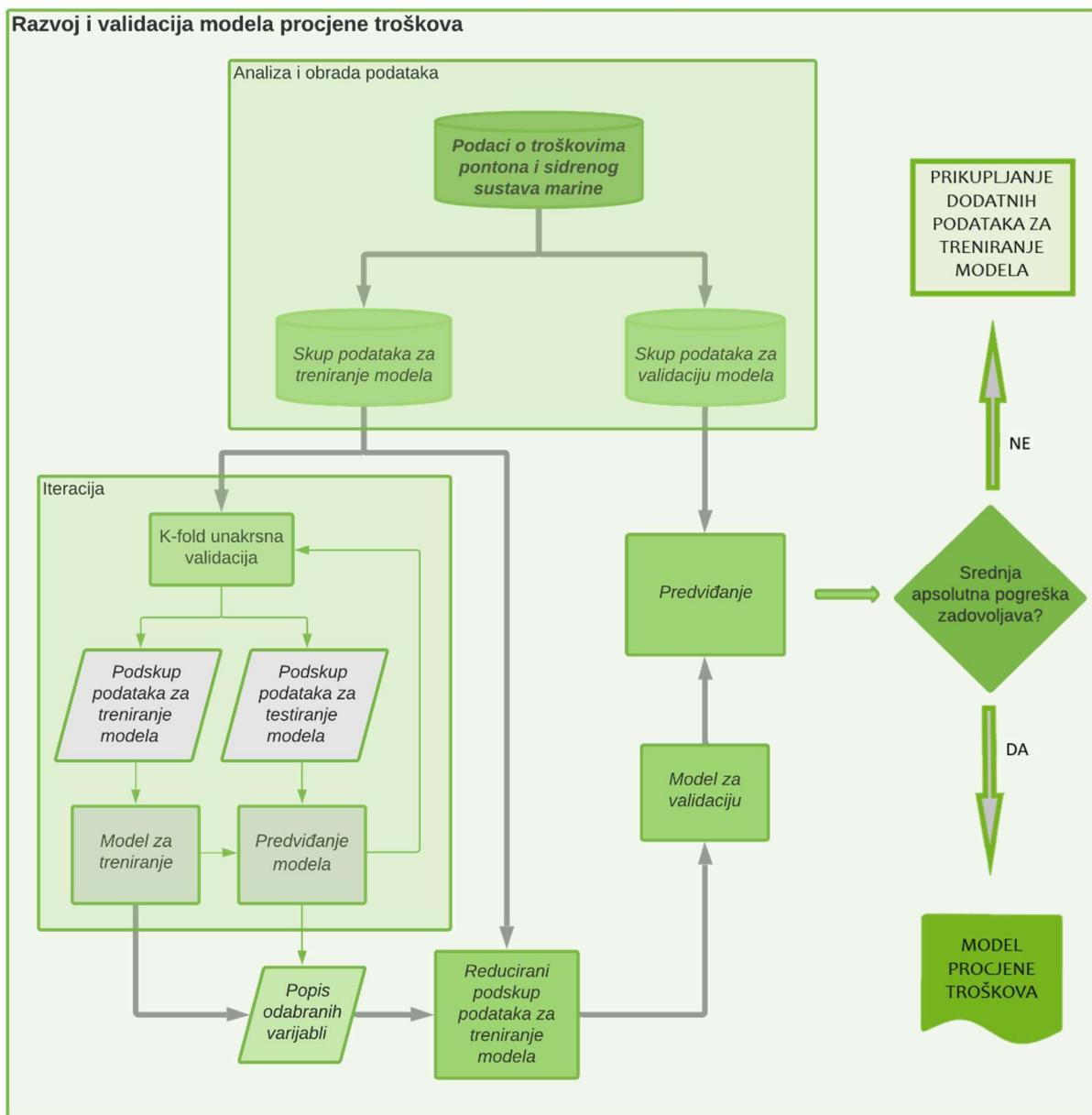
Usporedba rezultata osnovnih modela procjene troškova životnog ciklusa prikazuje najpovoljniji rezultat korištenjem regresijskog algoritma potpornih vektora, u iznosu srednje apsolutne pogreške od 405.114,35 kn. Dobivene vrijednosti poslužiti će kao smjernice za razvoj odabranih osnovnih modela procjene troškova koji daju najpovoljnije rezultate, a koji će se prikazati u sljedećem poglavlju rada.

5. RAZVOJ I VALIDACIJA MODELA PROCJENE TROŠKOVA

Razvoj i validacija modela procjene troškova napravljena je prema metodologiji prikazanoj na slici 28, preoblikovanoj prema radu autora (Miranda i dr., 2019.). Metodologija je podijeljena na četiri faze: (1) analizu i obradu podataka, (2) iterativni postupak treniranja modela i optimizacije parametara, (3) validaciju modela te (4) ocjenu prihvatljivosti modela.

U prvoj fazi razvoja modela, kako bi se spriječio problem pretreniranosti modela (engl. *overfitting*), prikupljeni podaci podijeljeni su na podskupove podataka – skup podataka za treniranje modela te skup podataka za validaciju modela. Podaci su podijeljeni na način da se dvije trećine podataka koristi za treniranje modela, a jedna je trećina podataka izostavljena je iz treniranja i koristi se za validaciju modela. Druga faza sastoji se od iterativnog procesa u kojem se skup podataka za treniranje dijeli na podskup podataka za treniranje i podskup podataka za testiranje modela K-kratnom unakrsnom validacijom. Finalni podaci dobiveni iz druge faze označeni su kao reducirani podskup podataka za treniranje modela, koji se potom koriste za treću fazu – validaciju modela, predviđanje te izračun srednje apsolutne pogreške i točnosti modela. U četvrtoj fazi prikazana je odluka o prihvatljivosti vrijednosti srednje apsolutne pogreške i točnosti modela koja će se donijeti zasebno za svaki prikazani model.

Razvoj modela procjene troškova uporabe, kao i troškova životnog ciklusa koristi istu metodologiju, prikazanu na slici 28. Razlika između razvoja modela procjene troškova uporabe i razvoja modela procjene troškova životnog ciklusa nalazi se u posljednjoj, četvrtoj fazi metodologije razvoja modela, u odluci zadovoljava li srednja apsolutna pogreška modela ili ne. Kriterij prihvatljivosti iznosa srednje apsolutne pogreške nije jednak za oba modela. Za svaki razvijeni model bit će prikazani rezultati – srednja apsolutna pogreška i točnost modela te će se donijeti ocjena o prihvatljivosti dobivenih rezultata. Ocjena prihvatljivosti modela donosi se različito za model procjene troškova uporabe u odnosu na model procjene troškova životnog ciklusa obzirom da se radi o različitim srednjim vrijednostima prosječnih godišnjih diskontiranih troškova uporabe te prosječnih godišnjih diskontiranih troškova životnog ciklusa.

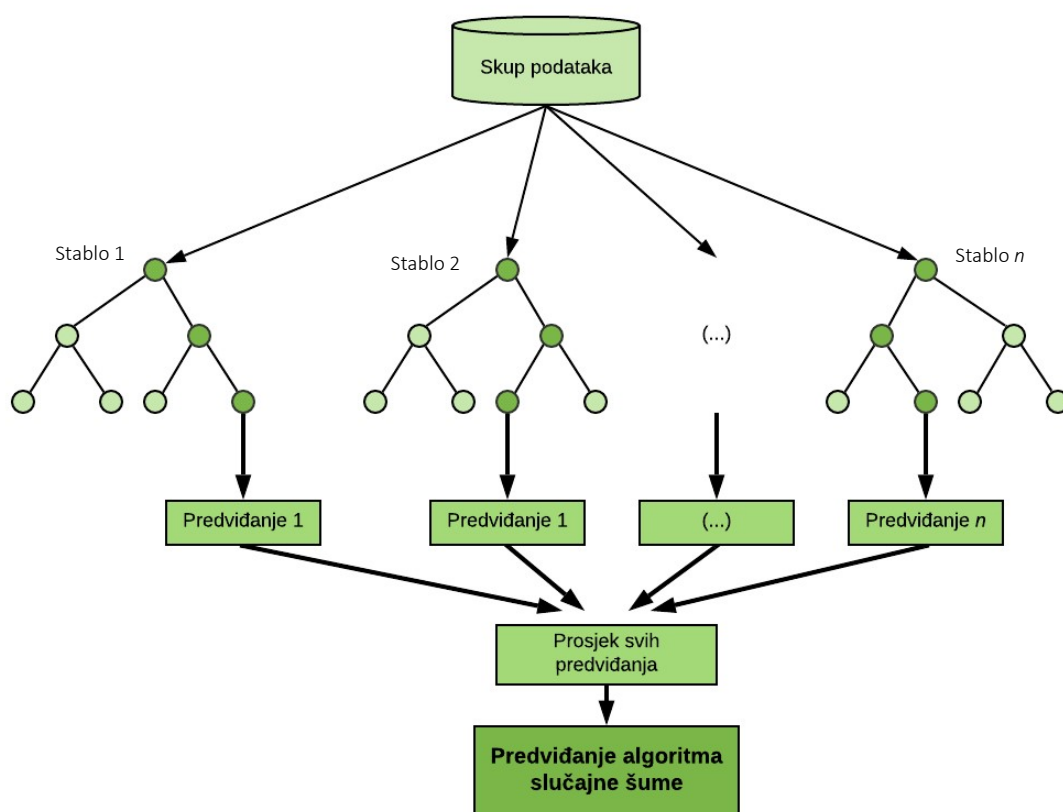


Slika 28. Metodologija razvoja modela (preoblikovao autor prema Miranda i dr., 2019.)

5.1. Razvoj modela procjene troškova uporabe pomoću algoritma slučajne šume

Na temelju provedene usporedbe osnovnih modela, primijenjen je algoritam slučajne šume (engl. *Random Forest* – RF) na razvoj modela procjene troškova uporabe pontona i sidrenog sustava marine. Slučajne šume (Breiman, 2001.) su veći skup ili cjelina (engl. *ensemble*) stabala odluke. Naziv algoritma proizlazi iz tehnike strojnog učenja koju algoritam koristi. Algoritam iz

raspoloživih podataka za učenje stvara veći broj stabala odlučivanja – šumu slučajnih stabala. Pri konstrukciji svakog stabla u šumi algoritam slučajnim odabirom uzima podskup podataka i podskup ulaznih varijabli skupa (Groen, 2017.; Jokić i Martinčić-Ipšić, 2019.; Lewinson, 2019.). Na slici 29 prikazana je struktura algoritma slučajne šume, prema autoru (Chakure, 2019.).



Slika 29. Struktura algoritma slučajne šume (oblikovao autor prema (Chakure, 2019.))

RF algoritam je algoritam cjelovitog učenja, koji kombinira skup uvjeta ili ograničenja koji se hijerarhijski organiziraju i sukcesivno primjenjuju od korijena do lista stabla (Liaw i Wiener, 2001; Rodriguez-Galiano i dr., 2014.). Algoritam počinje podjelom skupa podataka na set za treniranje i set za testiranje modela. Nakon podjele nasumično se uzimaju i zamjenjuju *bootstrap* (engl.) uzorci za pokretanje sustava iz seta podataka za treniranje modela. *Bootstrapping* je statistička metoda uzorkovanja s ponavljanjem, koja za cilj ima randomizaciju podataka za treniranje. Na svaki od uzoraka postavlja se regresijsko stablo. Za svaki čvor po stablu mali se skup ulaznih varijabli odabranih iz ukupnog skupa nasumično uzima u obzir.

Prilikom izgradnje stabla, odluka o podjeli podataka u čvoru donosi se prema funkciji koja određuje najbolju podjelu (Jokić i Martinčić-Ipšić, 2019.). Uobičajeno se kao funkcija za određivanje grananja koristi Gini indeks. Kriterij dijeljenja regresijskog stabla (Wang i dr., 2016.) temelji se na odabiru ulazne varijable s najnižim Ginijevim indeksom, tj.

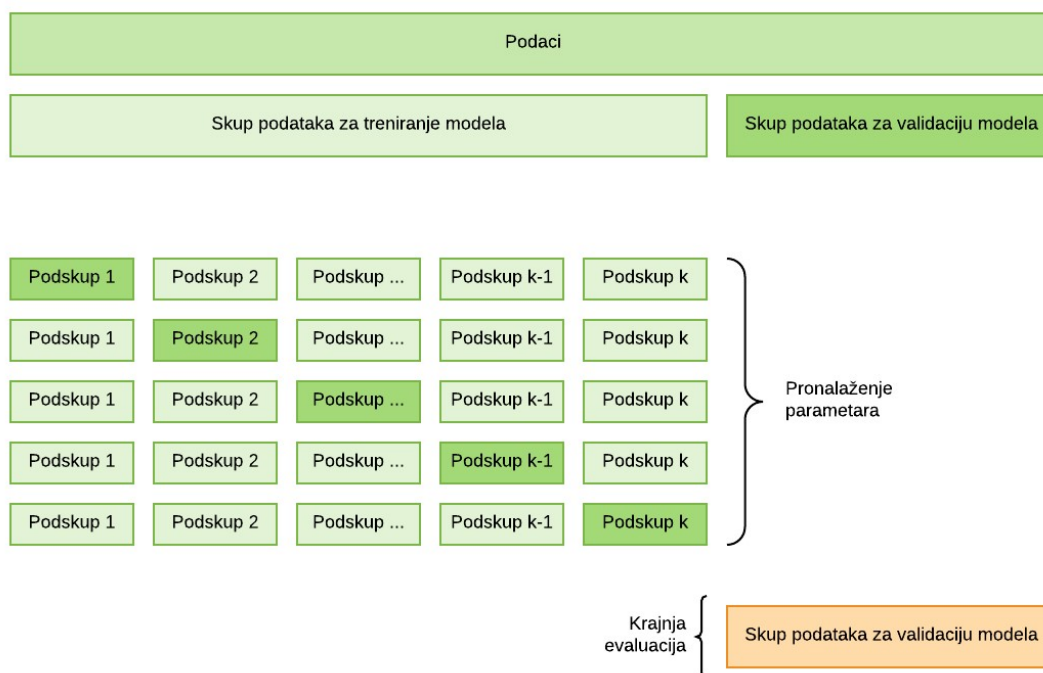
$$I_G(t_{x_{(x_i)}}) = 1 - \sum_{j=1}^m f(t_{x_{(x_i)}}, j)^2 \quad (20)$$

gdje je

$f(t_{x_{(x_i)}}, j)$ = udio uzoraka s vrijednošću x_i koja pripada križanju j kao čvor t .

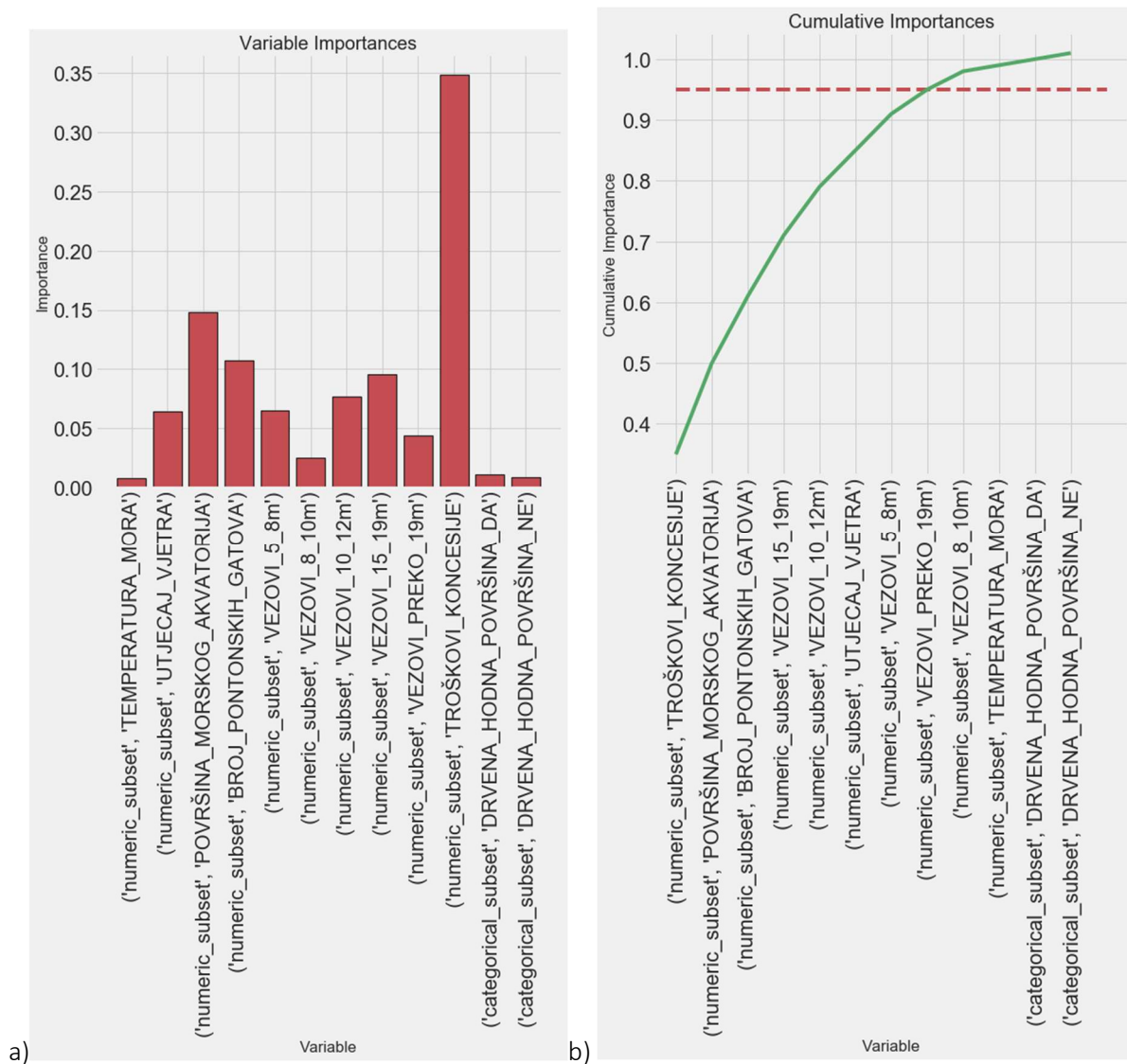
Koristeći RF algoritam, napravljena je optimizacija parametara modela (Koehrsen, 2018c) unakrsnom validacijom skupa podataka za treniranje. Metoda unakrsne validacije korištena za u razvoju ovoga modela je k -kratna (engl. *k-fold*) unakrsna validacija. K označava broj podskupina na koji se skup podataka dijeli. Mjera uspješnosti koja je iznesena k -kratnom unakrsnom validacijom tada je prosjek vrijednosti izračunatih u petlji. Ovaj pristup ne troši previše podataka, što je velika prednost kod problema gdje je broj uzoraka vrlo mali (Pedregosa i dr., 2011.). Slika 30 prikazuje primjer k -kratne unakrsne validacije na skupu podataka za treniranje modela.

RF ima mnogo zanimljivih značajki kao što su, precizna snaga predviđanja (usporediva sa ili čak nadmašuje neuronske mreže i algoritme potpornih vektora), niska sklonost pretreniranosti modela, ne zahtijeva visoku procesnu snagu računala i ima sposobnost rada s podacima vrlo velikih dimenzija (Caruana i Niculescu-Mizil, 2006.). Jedna od glavnih prednosti algoritma je otpor prema treningu i uzgoju velikog broja nasumičnih stabala odluke, gdje to ne stvara rizik od prekomjerne naučenosti modela (svako je stablo potpuno neovisan slučajni eksperiment). Algoritam je otporan na iznimke u podacima i automatski rješava vrijednosti koje nedostaju (Youssef i dr., 2016.).



Slika 30. Prikaz k -kratne unakrsne validacije (oblikovao autor prema (Pedregosa i dr., 2011.))

Za odabir najznačajnijih varijabli korištena je metoda odabira značajnih varijabli (engl. *feature importance*) pomoću regresijskog algoritma nasumične šume, kako bi se izračunala vrijednost utjecaja svake varijable u bazi podataka na predviđanje modela (Groen, 2017; Lewinson, 2019.). Na slici 31a i 31b prikazane su pojedinačne i kumulativne vrijednosti utjecaja svake varijable na rezultat modela.



Slika 31. Prikaz značajnijih varijabli modela procjene troškova uporabe

X-os prikazuje sve varijable (engl. *features*), dok je na y-osi označen utjecaj svake varijable (engl. *importance*), odnosno kumulativni utjecaj (engl. *cumulative importance*). Za daljnji razvoj modela uzete su varijable koje daju kumulativnu vrijednost utjecaja od 95 % (Koehrsen, 2017.). Kao što je vidljivo iz grafičkog prikaza 31b, u obzir je uzeto 8 varijabli. Varijable koje su značajne za razvoj modela su troškovi koncesije, površina morskog akvatorija, broj pontonskih gatova, vezovi duljine 5-8 m, 10-12 m, 15-19 m, vezovi preko 19 m duljine te utjecaj vjetra. Rezultati dobiveni navedenom metodom koriste se za bolje razumijevanje analiziranih podataka, bolje razumijevanje modela te za optimizaciju broja ulaznih varijabli (Brownlee, 2020.). Dobiveni

rezultati istaknuli su značajnije varijable za razvoj preciznijeg modela i obrnuto, a koje su najmanje značajne.

U prethodnom poglavlju prikazan je rezultat osnovnog modela procjene troškova uporabe pomoću parametra srednje apsolutne pogreške, u iznosu od 180.337,98 kn. Točnost osnovnog modela iznosi 77,85 %. Odabirom najznačajnijih varijabli modela nova izračunata vrijednost srednje apsolutne pogreške je 173.819,97 kn, točnost modela je 78,92%, čime se model poboljšao za 1,07 posto (prikazano u tablici 10).

Tablica 10 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE)

Model	MAE	Točnost	Poboljšanje
Osnovni model za usporedbu	180.337,98 kn	77,85 %	
Model nakon odabira najznačajnijih varijabli	173.819,97 kn	78,92 %	1,07 %

Nakon odabira značajnijih varijabli modela napravljena je optimizacija parametara modela. U algoritmu RF može se optimizirati velik broj parametara. Za modeliranje odnosa ovisnih i neovisnih varijabli, optimizacija parametara RF regresijskog algoritma provedena je uz unakrsnu validaciju $k=10$ (deset ponavljanja). Za optimizaciju parametara ovog modela korišteni su ulazni parametri i njihov rang vrijednosti prikazani u tablici 11.

Tablica 11 Parametri za optimizaciju RF modela

Parametar modela	Rang vrijednosti	Odabrana vrijednost
Uzorkovanje s ponavljanjem (<i>bootstrap</i>)	[Da, Ne]	Da
Maksimalna dubina stabla (<i>max_depth</i>)	[80, 90, 100, 110]	80
Broj značajki koje treba uzeti u obzir kada se traži najbolja podjela (<i>max_features</i>)	['auto', 'sqrt', 'log2']	'auto'
Minimalni broj uzoraka potreban da bude na čvoru lista (<i>min_samples_leaf</i>)	[3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]	3
Minimalni broj uzoraka potreban za podjelu unutarnjeg čvora (<i>min_samples_split</i>)	[5, 8, 9, 10, 11, 12, 15]	5
Broj regresijskih stabala u šumi (<i>n_estimators</i>)	[10, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 750, 1000]	10

Hiperparametri predstavljaju postavke algoritma koji se mogu prilagođavati za optimizaciju karakteristika modela. Dok se parametri modela uče tijekom treninga – poput nagiba i sjecišta u linearnoj regresiji – hiperparametri se postavljaju prije treniranja seta podataka. U slučaju slučajne šume, hiperparametri između ostalih uključuju i odabir uzorkovanja s ponavljanjem, maksimalnu dubinu stabla, broj značajki koje treba uzeti u obzir kada se traži najbolja podjela, minimalni broj uzoraka potreban za čvor lista i za podjelu unutarnjeg čvora te broj regresijskih stabala u šumi. Svaki algoritam već ima svoje zadane hiperparametre, ali isti nisu zajamčeno optimalni za problem. Podešavanje hiperparametara više se oslanja na eksperimentalne rezultate nego na teoriju, pa je na taj način najbolja metoda za određivanje optimalnih postavki algoritma isprobavanje više različitih kombinacija za procjenu karakteristika svakog modela (Koehrsen, 2018c). Kako bi se utvrdilo postoji li poboljšanje modela nakon podešavanja hiperparametara, dobiveni rezultat srednje apsolutne pogreške uspoređen je s osnovnim modelom. Parametri navedeni u tablici 10 isprobavaju ukupno 14.784 kombinacije postavki parametara. Odabrani su oni parametri čije su vrijednosti dale najnižu srednju apsolutnu pogrešku, prikazani u stupcu „Odabrana vrijednost“ u tablici 10.

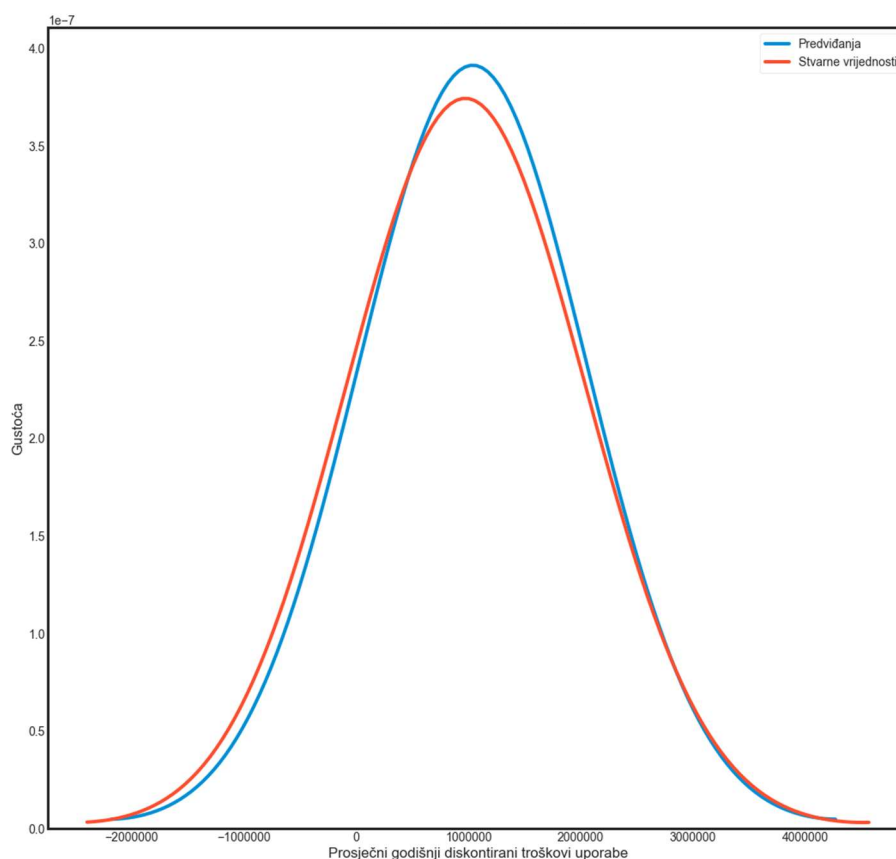
5.2. Validacija modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću RF algoritma

Završetkom optimizacije parametara modela vrijednost srednje apsolutne pogreške dobivene na skupu podataka za validaciju modela iznosi 173.819,97 kn. Točnost modela za procjenu troškova uporabe iznosi 78,92 %. Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške osnovnog modela, modela nakon odabira značajnijih varijabli i modela nakon optimizacije parametara prikazana je u tablici 12. Navedene vrijednosti srednje apsolutne pogreške i točnosti modela prihvatljive su, te se model procjene troškova uporabe pontona i sidrenog sustava marine definira kao prihvatljiv za upotrebu.

Tablica 12 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) RF modela

Model	MAE	Točnost
Osnovni model za usporedbu	180.337,98 kn	77,85 %
Validacija modela nakon optimizacije parametara	173.819,97 kn	78,92 %

Grafički prikaz raspodjele rezultata predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dan je na slici 32.

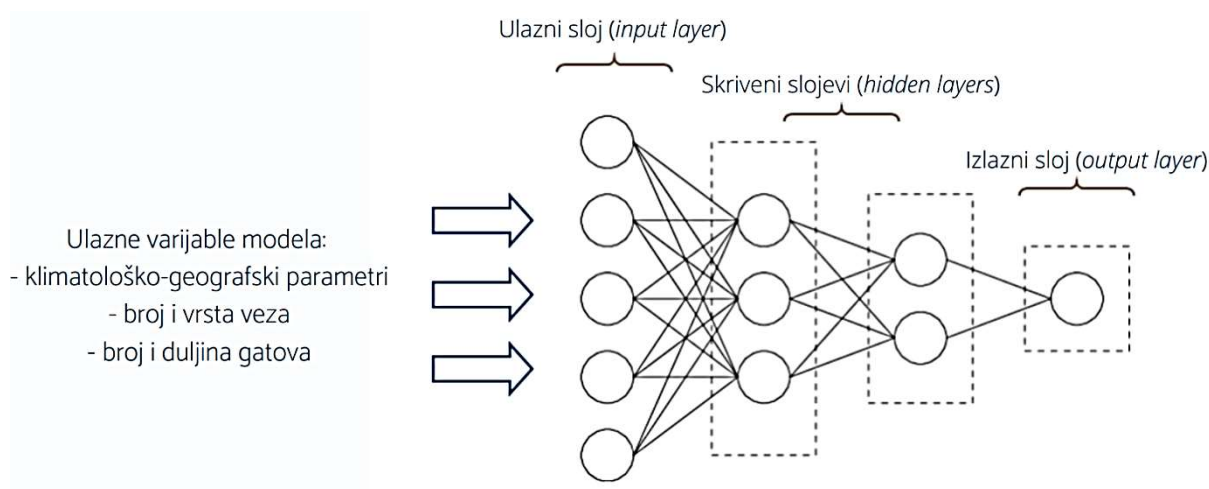


Slika 32. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću RF algoritma

5.3. Razvoj modela procjene troškova uporabe pomoću algoritma neuronske mreže

Kako bi se napravila usporedba točnosti modela za procjenu troškova, kao drugi algoritam odabran je algoritam neuronske mreže. Neuronska mreža prikladna je za iskazivanje ovisnosti među varijablama koje nisu u isključivo linearnoj vezi. U ovome radu koristit će se višeslojna perceptronska mreža temeljena na povratnom postupku, s prikladnim aktivacijskim funkcijama. Modelirana neuronska mreža sadrži ulazni sloj (određen broj ulaznih varijabli), skrivene slojeve

kako bi se simulirale pojave i procesi u stvarnosti te izlazni sloj (ovisnu varijablu koja se traži). Na slici 33 shematski je prikazana jednostavna neuronska mreža. Cilj rada s umjetnim neuronskim mrežama je oponašanje rada ljudskog mozga, odnosno biološke neuronske mreže. Osnovna komponenta svake umjetne neuronske mreže je umjetni neuron. Organizacija i povezanost umjetnih neurona uz svoj težinski faktor čine takozvanu arhitekturu modela (Haykin, 2009.).



Slika 33. Primjer jednostavne neuronske mreže

Ulazne (neovisne) varijable modela predstavljaju projektne i klimatološko-geografske parametre, a iskazat će se analitičko-matematički oblik veze s traženom (ovisnom) varijablom – troškovima uporabe pontona i sidrenog sustava marine. Neuroni su unutar neuronske mreže raspoređeni u takvoj strukturi da je izlaz svakog neurona određen težinskim faktorom w koji predstavlja pomak (engl. *bias*), a zatim djeluje kao ulaz u sljedeći sloj. Broj skrivenih slojeva kao i broj neurona u svakom skrivenom sloju može se odrediti iterativnim postupkom pokušaja i pogreške, dok je broj neurona u ulaznom i izlaznom sloju definiran postojećim problemom (Tafarroj i dr., 2017.). Svaki neuron u skrivenom ili izlaznom sloju ima aktivacijsku funkciju, poznatu i kao funkciju prijenosa. U svakom koraku neuron računa odziv o_k prema jednadžbi (21), gdje p_k označava sumu otežanih ulaza definiranu jednadžbom (22) (Matić, 2014.).

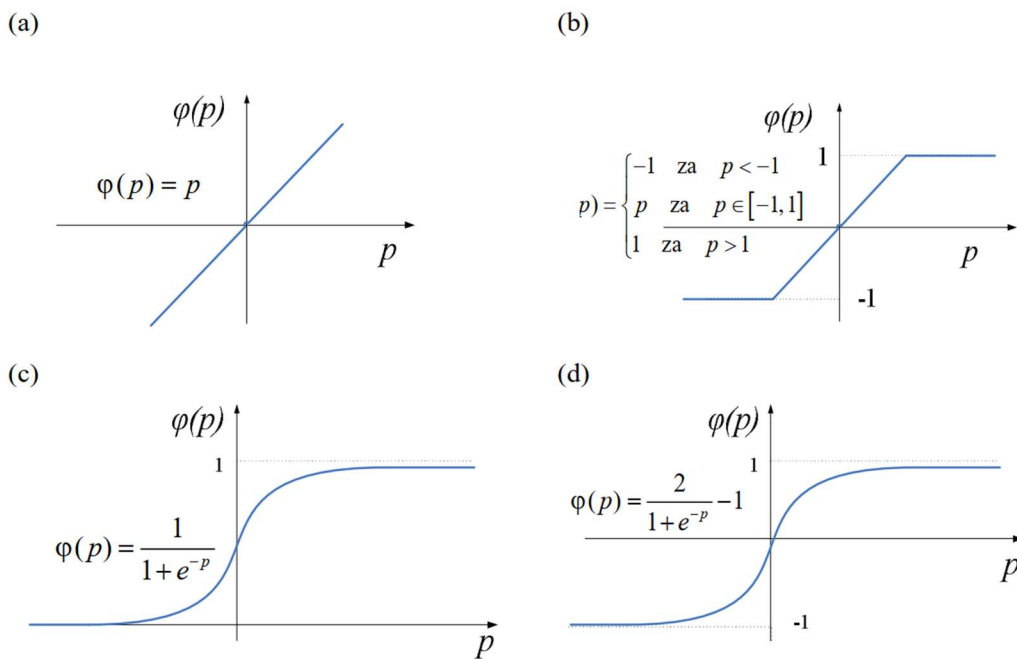
$$o_k = \varphi(p_k) \quad (21)$$

$$p_k = \sum_{n=0}^m (w_k * u_k) \quad (22)$$

gdje je

- φ = aktivacijska funkcija neurona,
- w_k = vrijednost težinskog faktora,
- u_k = ulaz u neuron.

Najčešće aktivacijske funkcije koje se koriste u algoritmima neuronskih mreža su linearna aktivacijska funkcija te nelinearne funkcije – sigmoidalna, tanh – tangens hiperbolni, softmax i ReLU (engl. *Rectified Linear Unit*). Aktivacijske funkcije prikazane su na slici 34.



Slika 34. Aktivacijske funkcije: (a) linearna, (b) ReLU, (c) sigmoidalna, (d) tanh (Matić, 2014.)

Kao i kod algoritma slučajnih šuma, algoritam neuronske mreže počinje podjelom skupa podataka na set za treniranje i set za testiranje modela. Optimizacija parametara mreže je iterativni postupak koji se provodi prema jednadžbi (23), a razlikuje se po načinu na koji se određuje mjera promjene težinskog faktora Δw – može se provoditi u postepenom ili grupnom (engl. *batch*) režimu (Hagan i ostali, 2014.). Parametri ovog modela optimizirat će se prema grupnom režimu, gdje se mreži predstave svi ulazno-izlazni parovi u jednoj epohi, a pogreška

cijele epohe se koristi za podešavanje parametara (Matić, 2014.). U tablici 13 prikazani su parametri modela koji su se podešavali iterativnim postupkom te odabrane vrijednosti svakog parametra. Odabrani su oni parametri čije su vrijednosti dale najnižu srednju apsolutnu pogrešku.

Tablica 13 Parametri za optimizaciju RF modela

Parametar modela	Rang vrijednosti	Odabrana vrijednost
Veličina grupe (<i>batch_size</i>)	[1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20, 40, 60, 80, 100]	6
Broj epoha (<i>epochs</i>)	[10, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000]	900
Brzina učenja (<i>learning_rate</i>)	[0.001, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3]	0.01
Koeficijent brzine propadanja (<i>beta_1</i>)	[0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9]	0.9
Aktivacijska funkcija	['softmax', 'softplus', 'softsign', 'relu', 'tanh', 'sigmoid', 'hard_sigmoid', 'linear']	'hard_sigmoid'
Ograničenje težine (<i>weight_constraint</i>)	[1, 2, 3, 4, 5]	Nije odabrano
Slučajno izostavljanje neurona prilikom učenja (<i>dropout_rate</i>)	[0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9]	Nije odabrano
Inicijalizator težine veza (<i>kernel_initializer</i>)	['uniform', 'lecun_uniform', 'normal', 'zero', 'glorot_normal', 'glorot_uniform', 'he_normal', 'he_uniform']	'lecun_uniform'

U slučaju neuronske mreže, hiperparametri između ostalih uključuju i odabir veličine grupe, broj epoha, brzinu učenja i aktivacijske funkcije kao značajnije hiperparametre. Kako bi se utvrdilo postoji li poboljšanje modela nakon podešavanja hiperparametara, dobiveni rezultat srednje apsolutne pogreške uspoređen je s osnovnim modelom. Parametri navedeni u tablici 13 isprobavaju ukupno 17.280.000 kombinacija postavki parametara. Odabrani su oni

parametri čije su vrijednosti dale najnižu srednju apsolutnu pogrešku, prikazani u stupcu „Odabrana vrijednost“ u tablici 13.

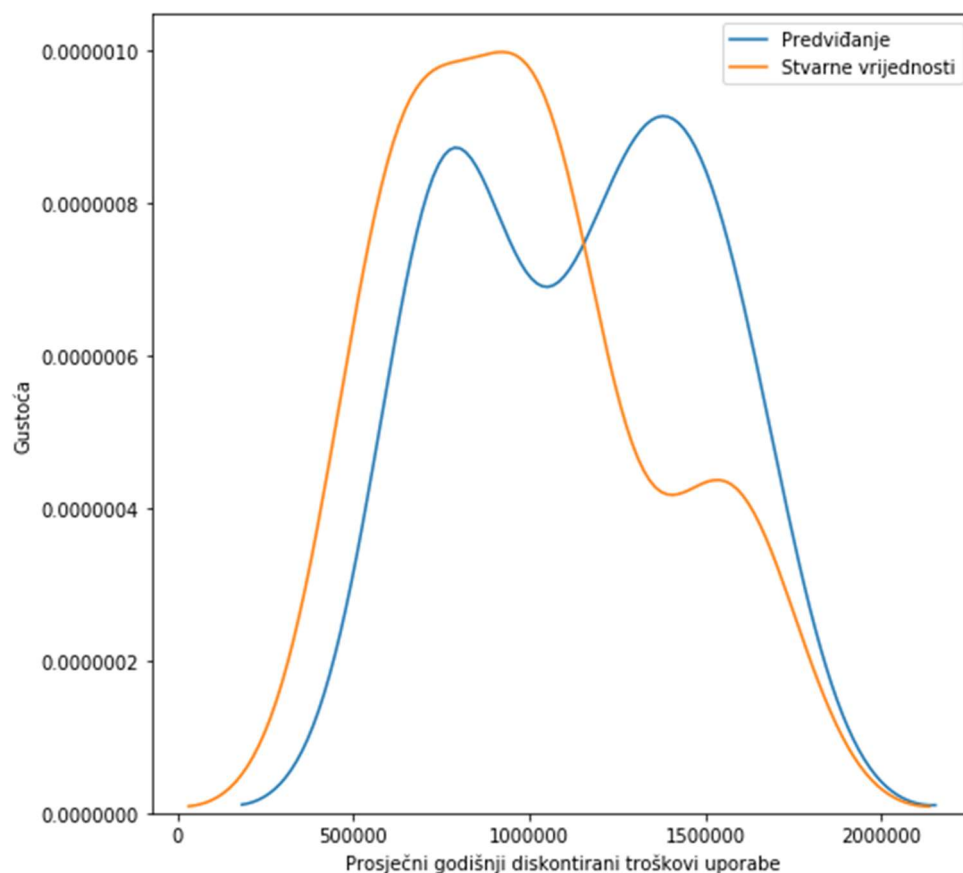
5.4. Validacija modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću NN algoritma

Završetkom optimizacije parametara modela vrijednost srednje apsolutne pogreške dobivene na skupu podataka za validaciju modela iznosi 311.528,53 kn. Točnost modela za procjenu troškova uporabe iznosi 61,46 %. Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške osnovnog modela, modela nakon odabira najznačajnijih varijabli i modela nakon optimizacije parametara prikazana je u tablici 14.

Tablica 14 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) NN modela

Model	MAE	Točnost	Poboljšanje
Osnovni model za usporedbu	492.349,10 kn	37,21 %	
Validacija modela nakon optimizacije parametara	311.528,53 kn	61,46 %	24,25 %

Grafički prikaz raspodjele rezultata predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dan je na slici 35. Iz oba prikaza razvidno je da algoritam neuralne mreže nije prihvatljiv kao odabir modela procjene troškova uporabe, međutim usporedba je napravljena kako bi se vidjelo postoji li poboljšanje lošijeg modela i koliko se model procjene troškova uporabe može poboljšati. Rezultati osnovnih modela su generalizirani, jer se koriste zadane vrijednosti za hiperparametre modela, a učinkovitost svakog modela strojnog učenja ovisi o optimizaciji tih postavki.



Slika 35. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću NN algoritma

5.5. Prednosti i ograničenja korištenja modela procjene troškova uporabe

Prednost primjene modela procjene troškova uporabe na pontonima i sidrenom sustavu marine ogleda se u jednostavnosti primjene modela. Varijable potrebne za procjenu troškova su troškovi koncesije, površina morskog akvatorija, broj pontonskih gatova, broj vezova duljine 5-8 m, 10-12 m, 15-19 m, broj vezova preko 19 m duljine te utjecaj vjetra. Sve navedene varijable sadržavaju podatke do kojih je relativno jednostavno doći već prilikom odabira lokacije za gradnju marine, kao i prilikom projektiranja marine. Troškovi koncesije mogu se predvidjeti u ovisnosti o površini morskog i kopnenog obuhvata marine, projektiranim parametrima marine te godišnjem prihodu koji je u marini moguće ostvariti. Već u samoj fazi projektiranja marine, s

obzirom na navedene varijable, moguće je procijeniti troškove uporabe pontona i sidrenog sustava marine, a samim time i procijeniti i vrednovati različita projektna rješenja.

Najvažnija prednost primjene modela procjene troškova uporabe je podrška sustavu upravljanja i održavanja postojeće i buduće marine u donošenju odluka prilikom odabira i razmještaja pontona te odabir i broj vezova u ovisnosti o duljini plovila.

Prvo i osnovno ograničenje modela procjene troškova uporabe je mali broj podataka za treniranje i validaciju modela. Među odgovorima marina koje su dostavile ispunjeni upitnik bilo je nepotpunih podataka, a nakon usmenog telefonskog i terenskog prikupljanja i obrade podataka konačno se odazvalo 16 marina, od ukupnog broja od 37 marina koje odgovaraju kriteriju odabira. Broj godina, odnosno referentno razdoblje za koje su dostavljeni podaci o troškovima kretalo se od 3 do 11 godina, ovisno o tome kada je marina izgrađena i puštena u rad. U ovom istraživanju podatke je bilo gotovo nemoguće prikupiti online anketom, dok se nešto više uspjeha ostvarilo terenskim prikupljanjem podataka, međutim i dalje se ovakva vrsta podataka smatra tajnim i komercijalno osjetljivim. Kako bi se utvrdila stvarna primjenjivost na sve pontone i sidrene sustave u marinama, potrebno je povećati uzorak. Drugo ograničenje modela odnosi se na broj godina za koje se procjenjuju troškovi uporabe pontona. Kako prikupljeni podaci govore o troškovima uporabe pontona i sidrenog sustava marine za kratko razdoblje od 11 godina, potrebno je nastaviti s prikupljanjem i obradom podataka da bi se utvrdilo razdoblje za koje se troškovi mogu procijeniti i usporediti.

5.6. Razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pomoću algoritma potpornih vektora

Na temelju provedene usporedbe osnovnih modela, kao najpovoljniji osnovni algoritam primijenio se algoritam potpornih vektora (SVM) na razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine. Algoritam potpornih vektora predstavljen je početkom devedesetih godina prošloga stoljeća, a razvijao ga je Vladimir Vapnik. Prvotno je korišten za klasifikacijske probleme (Vapnik, 2010.). Posljednjih su godina algoritmi temeljeni

na jezgri, poput algoritama potpornih vektora koji se pomoću uporabe kernel funkcija mogu prilagoditi raznim primjenama, postali popularni (Alpaydin, 2009.). Jedna od prednosti SVM je što može raditi s malim brojem podataka, a modeli su generirani s relativno malim skupom uzoraka. SVM algoritmi pružaju kompromis između parametarskog i neparametarskog pristupa. Parametarski pristupi koriste parametre za modeliranje i pretpostavljaju da se podaci ravnaju po određenom modelu, slično linearnoj regresiji, dok neparametarski modeli (poput stabla odluka) izravno uključuju skup podataka za treniranje i ne ovise o parametrima (Rebala i dr., 2019.). SVM algoritmi vrlo su zanimljive metode, s relativno jednostavnom teorijskom pozadinom, a iznimno djelotvoran u modelima i aplikacijama u stvarnom svijetu. Velika prednost tehnika temeljenih na SVM je njihova sposobnost modeliranja nelinearnih odnosa (Balabin i Lomakina, 2011.). Općenito, SVM koristi model za formiranje površine odluke preslikavanjem ulaznih vektora u visokodimenzionalni (ili beskonačno-dimenzionalni) prostor varijabli. Zatim se u visokodimenzionalnom (ili beskonačno dimenzionalnom) prostoru provodi linearna regresija. Operacija mapiranja odnosno preslikavanja vektora potrebna je zbog činjenica da je odnos između višedimenzionalnog ulaznog vektora x i izlaza y nepoznat i vrlo je vjerojatno da odnos bude nelinearan. Regresijski algoritam potpornih vektora ima za cilj pronalaženje linearne hiperravnine, koja će na odgovarajući način preslikati višedimenzionalne ulazne vektore izlaznim vrijednostima. Ishod se zatim koristi za predviđanje buduće izlazne vrijednosti sadržane u skupu podataka za testiranje modela. Skup podataka prema radu (Wauters i Vanhoucke, 2014.) definira se kao

$$\mathbf{P} = (\mathbf{x}_i, a_i), i = 1, \dots, n \quad (23)$$

gdje je

- x_i = ulazni vektor podatkovne točke i ,
- a_i = stvarna vrijednost,
- n = broj podatkovnih točaka.

SVM algoritam funkciju procjenjuje pomoću sljedeće jednadžbe (Yao i dr., 2014.):

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b, w, x \in P^k, b \in P^m \quad (24)$$

gdje je

$\langle w, x \rangle$ = značajka ulazne varijable,

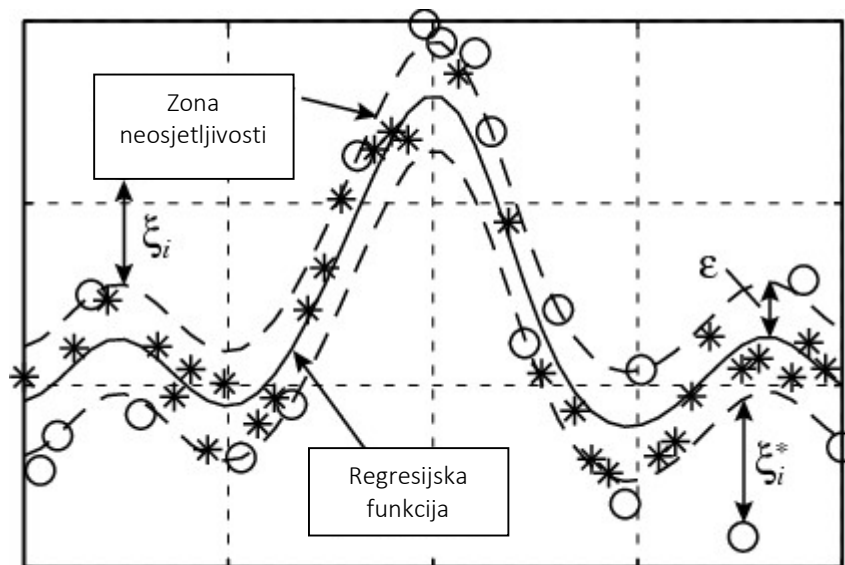
w, b = koeficijenti procijenjeni regularizacijom rizika.

Ravnoteža između dobrog ponašanja modela u treniranju i u generalizaciji ogleda se u sljedećoj jednadžbi za složeni rizik R nastao zbog grešaka u treningu i složenosti modela (Wauters i Vanhoucke, 2014.):

$$R = \frac{C}{n} \sum_{i=1}^n L_{\epsilon}(a_i, f(x_i)) + \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (25)$$

Navedena jednadžba (25) sastoji se od dva glavna dijela. Prvi dio, $\frac{C}{n} \sum_{i=1}^n L_{\epsilon}(a_i, f(x_i))$ sastoji se od treninga ili empirijskog rizika, a mjeri se osjetljivošću funkcije gubitka, $L_{\epsilon}(a, y)$. Ova funkcija podrazumijeva da se greška predviđanja zanemaruje ukoliko je razlika između predviđene vrijednosti $f(x)$ i stvarne vrijednosti a manja od ϵ . Drugi dio jednadžbe (25), $\frac{1}{2} \|w\|^2$, pojam je regularizacije i povezan je sa složenošću modela (Cortes i Vapnik, 1995.). C kontrolira kompromis između uvjeta regulacije i točnosti treninga. Problem pronalaženja optimalne hiperravnine je problem konveksne optimizacije. Za nelinearne odnose između ulaznih i izlaznih vektora, potrebno je definirati kartu, φ , koja preslikava podatkovne točke skupa za treniranje x_i u prostor viših dimenzija.

Na slici 36 prikazan je primjer nelinearne regresije riješene regresijskom funkcijom potpornih vektora. Navedeno se postiže kernel funkcijama, odnosno jezgrenim funkcijama koje pokušavaju postići linearnu odvojenost između podatkovnih točaka u prostoru. Postoje mnoge funkcije kernela, a najčešće korištene su linearna, polinomna, radijalna bazna funkcija (engl. *Radial Basis Function* – RBF) te sigmoidna funkcija.



Slika 36. Nelinearna regresija potpornih vektora

Kvaliteta modela strojnog učenja, pa tako i SVM modela ovisi o ispravnom postavljanju i optimizaciji parametara modela (Wang, 2016.). U SVM algoritmu najvažniji parametri za optimizaciju su funkcija gubitka *epsilon* (ϵ) i faktor kaznene pogreške C . Uz navedeno, važan je odabir jezgrene funkcije. Za modeliranje odnosa ovisnih i neovisnih varijabli, optimizacija parametara SVM regresijskog algoritma provedena uz unakrsnu validaciju $k=10$ (deset ponavljanja). Za optimizaciju parametara ovog modela korišteni su ulazni parametri i njihov rang vrijednosti prikazani u tablici 15.

U slučaju algoritma potpornih vektora, kao glavne hiperparametre koji se postavljaju prije treniranja modela mogu se navesti odabir jezgrene funkcije, C – regularizacijski parametar i γ – koeficijent jezgrenih funkcija 'rbf', 'poly' i 'sigmoid'. Uz glavne napravljena je optimizacija i ostalih hiperparametara – odabir stupnjeva u slučaju da je odabrana jezgrene funkcija 'poly', coef0 , značajan za funkcije 'poly' i 'sigmoid', ϵ tesmanjenje vremena treninga. Odabrani su oni parametri čije su vrijednosti dale najnižu srednju apsolutnu pogrešku, prikazani u stupcu „Odabrana vrijednost“ u tablici 15.

Tablica 15 Parametri za optimizaciju SVM modela

Parametar modela	Rang vrijednosti	Odabrana vrijednost
Jezgrena funkcija	['linear', 'poly', 'rbf', 'sigmoid']	'rbf'
Stupnjevi (koriste se isključivo uz polinomnu jezgrenu funkciju 'poly')	[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]	0
C – regularizacijski parametar	[0.1, 1, 10, 100, 200, 500, 1000, 1500]	1000
γ (gamma) – koeficijent jezgrenih funkcija 'rbf', 'poly' and 'sigmoid'	['scale', 'auto', 100, 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001]	'scale'
coef0 (značajni uz jezgrenu funkciju 'poly' i 'sigmoid')	[0, 0.1, 0.5, 1, 1.1, 1.5]	0
ϵ (epsilon)	[0.001, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 1.5, 2]	0.001
Smanjenje vremena treninga (<i>shrinking</i>)	[Da, Ne]	Da

5.7. Validacija modela procjene troškova životnog ciklusa dobivenog pomoću SVM algoritma

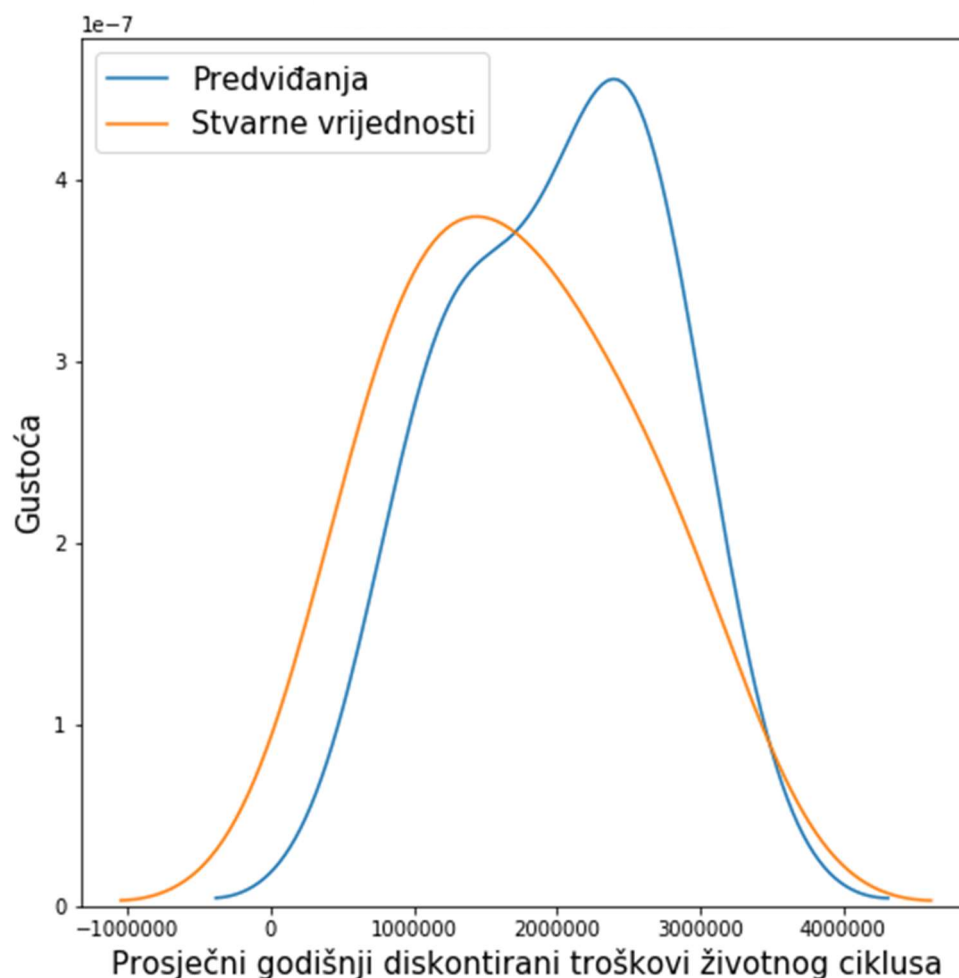
Završetkom optimizacije parametara modela vrijednost srednje apsolutne pogreške dobivena na skupu podataka za validaciju modela iznosi 373.185,31 kn. Točnost modela za procjenu troškova uporabe iznosi 67,51 %. Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške osnovnog modela i modela nakon optimizacije parametara prikazana je u tablici 16.

Tablica 16 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) SVM modela

Model	MAE	Točnost	Poboljšanje
Osnovni model za usporedbu	405.114,35 kn	60,28 %	
Validacija modela nakon optimizacije parametara	373.185,31 kn	67,51 %	7,23 %

Navedene vrijednosti srednje apsolutne pogreške i točnosti modela prihvatljive su, te se model procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine definira kao prihvatljiv za

upotrebu. Grafički prikaz raspodjele rezultata predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova životnog ciklusa dan je na slici 37.



Slika 37. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova životnog ciklusa dobivenog pomoću SVM algoritma

5.8. Razvoj modela procjene troškova životnog ciklusa pomoću algoritma podizanja gradijenta

U algoritmima podizanja gradijenta strojno učenje odvija se postupkom uzastopnog uklapanja u nove modele, kako bi se dobila što preciznija procjena varijable odgovora. Za razliku od uobičajene tehnike koja se temelji na odabiru cjelina poput slučajnih šuma koje se oslanjaju na

prosjeck predviđanja svih slučajno stvorenih modela u cjelini, algoritam podizanja gradijenta temelji se na slijednom učenju algoritama na pogreškama prethodnih algoritama. Navedeno znači da se ansambli ne grade zasebno, već slijedno. Svaka nova cjelina uči na prijašnjim pogreškama, čime se skraćuje vrijeme potrebno za predviđanje rezultata. Osnovna ideja ovog algoritma je konstruirati nove osnovne klasifikatore koji su u korelaciji s negativnim gradijentom funkcije gubitka povezanim s cjelinom, gdje primijenjene funkcije gubitaka mogu biti proizvoljne (Natekin i Knoll, 2013.). GB algoritmi su iznimno prilagodljivi bilo kojem određenom zadatku, s mnogo slobode u dizajniranju modela, čime je izbor najprikladnije funkcije gubitka stvar pokušaja i pogreške. Relativno su jednostavni za implementaciju, što omogućuje eksperimentiranje s različitim dizajnima modela. Najčešće korišteni algoritmi podizanja gradijenta su AdaBoost (engl. *Adaptive Boosting*), algoritam podizanja gradijenta (engl. *Gradient Boosting*) i ekstremno podizanje gradijenta – XGBoost (engl. *Extreme Gradient Boosting*). U ovome radu koristi se *Gradient Boosting*. Metoda podizanja gradijenta koristi gradijentni spust (engl. *gradient descent*) da minimizira funkciju gubitka na način da kontinuirano osposobljava cjeline prema pogreškama prethodnika (Koehrsen, 2018b).

Koristeći GB algoritam, napravila se optimizacija parametara modela (Koehrsen, 2018b) unakrsnom validacijom skupa podataka za treniranje. Metoda unakrsne validacije istovjetna je onoj korištenoj u razvoju modela procjene troškova uporabe pomoću algoritma slučajne šume, prikazanoj na slici 28. U prethodnom poglavlju prikazan je rezultat osnovnog modela procjene troškova uporabe pomoću parametra srednje apsolutne pogreške, u iznosu od 1.014.071,57 kn. Točnost osnovnog modela iznosi 6,09 %. Unutar GB algoritma može se optimizirati veliki broj parametara. Za modeliranje odnosa ovisnih i neovisnih varijabli, optimizacija parametara GB regresijskog algoritma provedena uz unakrsnu validaciju $k=4$ (četiri ponavljanja). Za optimizaciju parametara ovog modela korišteni su ulazni parametri i njihov rang vrijednosti, prikazani u tablici 17.

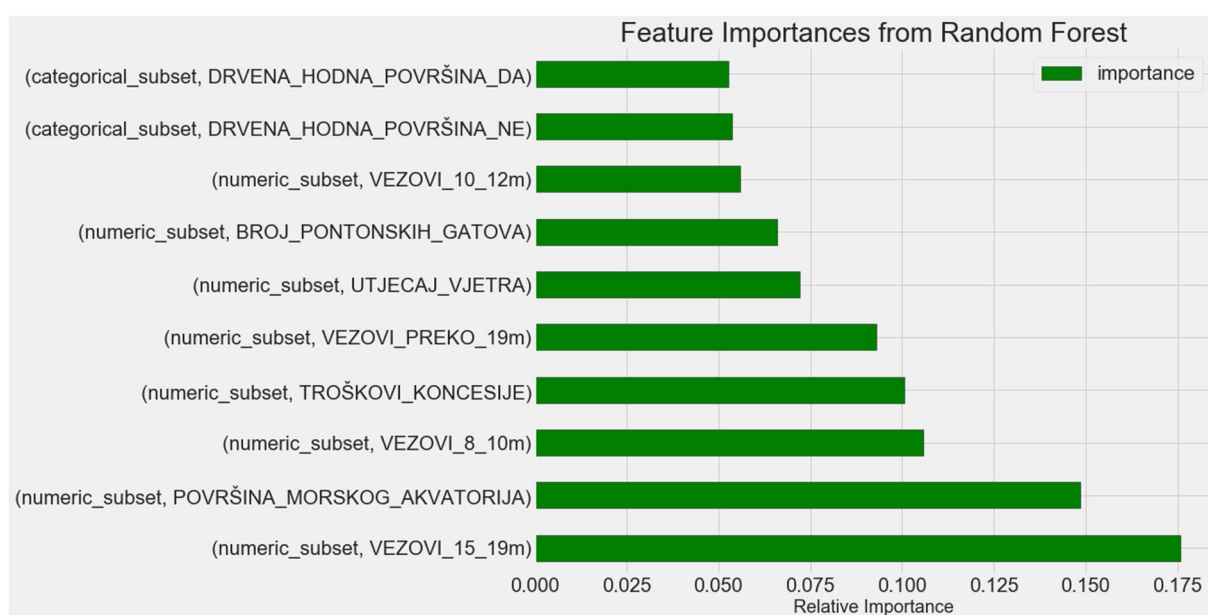
Tablica 17 Parametri za optimizaciju GB modela

Parametar modela	Rang vrijednosti	Odabrana vrijednost
Funkcija gubitka (<i>loss</i>)	['ls', 'lad', 'huber']	'lad'
Broj stabala odluke (<i>n_estimators</i>)	[10, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500]	900
Maksimalna dubina svakog stabla (<i>max_depth</i>)	[2, 3, 5, 10, 15, 25]	2
Minimalni broj uzoraka potreban da bude na čvoru lista (<i>min_samples_leaf</i>)	[1, 2, 4, 6, 8, 10]	1
Minimalni broj uzoraka potreban za podjelu unutarnjeg čvora (<i>min_samples_split</i>)	[2, 4, 6, 8, 10]	4
Broj značajki koje treba uzeti u obzir kada se traži najbolja podjela (<i>max_features</i>)	['auto', 'sqrt', 'log2', None]	'auto'

Hiperparametri koji se postavljaju prije treniranja seta podataka, u slučaju algoritma podizanja gradijenta između ostalih uključuju i odabir funkcije gubitka, broj stabala odluke, maksimalnu dubinu svakog stabla, minimalni broj uzoraka potreban za čvor lista i za podjelu unutarnjeg čvora te broj značajki koje treba uzeti u obzir kada se traži najbolja podjela. Kako bi se utvrdilo postoji li poboljšanje modela nakon podešavanja hiperparametara, dobiveni rezultat srednje apsolutne pogreške uspoređen je s osnovnim modelom. Parametri navedeni u tablici 16 isprobavaju ukupno 45.360 kombinacija postavki parametara. Odabrani su oni parametri čije su vrijednosti dale najnižu srednju apsolutnu pogrešku, prikazani u stupcu „Odabrana vrijednost“ u tablici 17.

Za odabir najznačajnijih varijabli korištena je metoda odabira značajnih varijabli (engl. *feature importances*) pomoću regresijskog algoritma nasumične šume, kako bi se izračunala vrijednost utjecaja svake varijable u bazi podataka na predviđanje modela (Groen, 2017; Lewinson, 2019.). Na slici 38 prikazane su pojedinačne vrijednosti utjecaja svake varijable na rezultat modela. X-os prikazuje relativnu vrijednost svake varijable na model (engl. *relative importance*), dok su na

y-osi prikazane najznačajnije varijable (engl. *importance*). Varijable koje su značajne za razvoj modela su postojanje drvene hodne površine, površina morskog akvatorija, broj pontonskih gatova, vezovi duljine 8-10 m, 10-12 m, 15-19 m, vezovi preko 19 m duljine, troškovi koncesije te utjecaj vjetrova. Rezultati dobiveni navedenom metodom koriste se za bolje razumijevanje analiziranih podataka, bolje razumijevanje modela te za optimizaciju broja ulaznih varijabli (Brownlee, 2020.). Dobiveni rezultati istaknuli su značajnije varijable za razvoj preciznijeg modela i obrnuto, a koje su najmanje značajne.



Slika 38. Prikaz značajnih varijabli modela procjene troškova životnog ciklusa

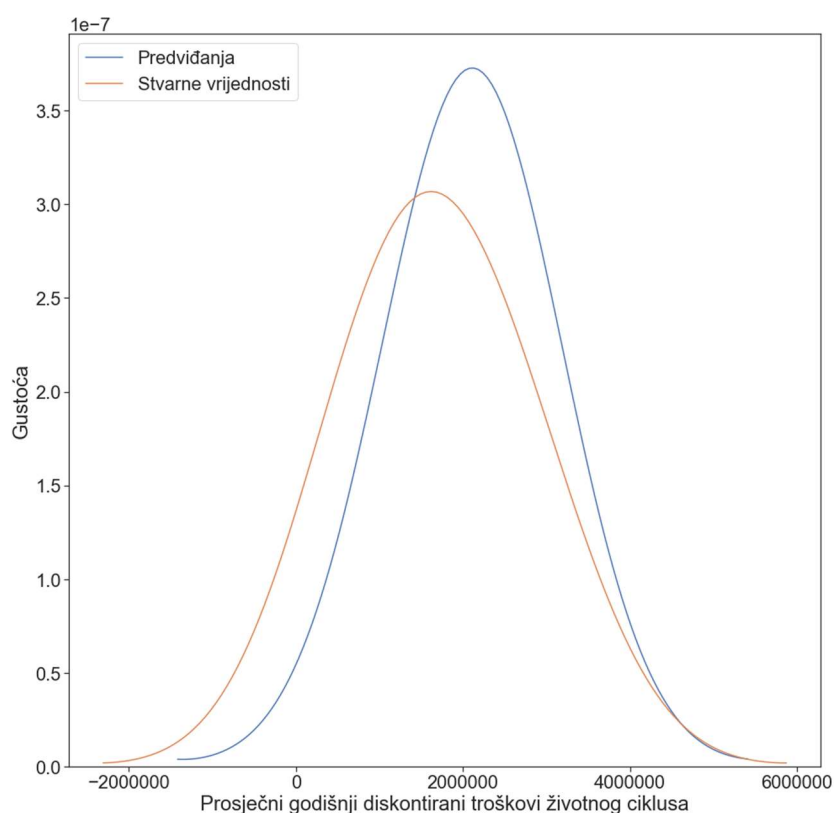
5.9. Validacija modela procjene troškova životnog ciklusa dobivenog pomoću GB algoritma

Završetkom optimizacije parametara modela vrijednost srednje apsolutne pogreške dobivena na skupu podataka za validaciju modela iznosi 814.437,05 kn. Točnost modela za procjenu troškova uporabe iznosi 21,56 %, što je iznimno loš rezultat modela. Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške osnovnog modela i modela nakon optimizacije parametara prikazana je u tablici 18. Model procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine nije prihvatljiv za upotrebu.

Tablica 18 Usporedba vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE) GB modela

Model	MAE	Točnost	Poboljšanje
Osnovni model za usporedbu	1.014.071,57 kn	6,09 %	
Validacija modela nakon optimizacije parametara	919.952,73 kn	12,20 %	6,11 %
Model nakon odabira najznačajnijih varijabli	814.437,05 kn	21,56 %	9,36 %

Grafički prikaz raspodjele rezultata predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dan je na slici 39.



Slika 39. Prikaz raspodjele predviđenih i stvarnih vrijednosti modela procjene troškova uporabe dobivenog pomoću GB algoritma

5.10. Prednosti i ograničenja korištenja modela procjene troškova životnog ciklusa

Kao i kod modela procjene troškova uporabe, prednost primjene modela procjene troškova životnog ciklusa na pontonima i sidrenom sustavu marine ogleda se u jednostavnosti primjene modela. Varijable potrebne za procjenu troškova su temperatura mora, utjecaj vjetera, površina

morskog akvatorija, broj pontonskih gatova, drvena hodna površina, broj vezova duljine 5-8 m, 8-10 m, 10-12 m, 15-19 m, broj vezova preko 19 m duljine te troškovi koncesije. Varijable potrebne za procjenu troškova sadržavaju sve podatke do kojih je relativno jednostavno doći već prilikom odabira lokacije za gradnju marine te prilikom projektiranja marine. Troškovi koncesije mogu se predvidjeti u ovisnosti o površiniorskog i kopnenog obuhvata marine, projektiranim parametrima marine te godišnjem prihodu koji je u marini moguće ostvariti. Već u samoj fazi projektiranja marine, s obzirom na navedene varijable, moguće je procijeniti troškove troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine, a samim time i procijeniti i vrednovati različita projektna rješenja. Najvažnija prednost primjene oba modela i modela procjene troškova uporabe te modela procjene troškova životnog ciklusa je podrška sustavu upravljanja i održavanja postojeće i buduće marine u donošenju odluka prilikom odabira i razmještaja pontona, kao i odabir i broj vezova u ovisnosti o duljini plovila.

Prvo i osnovno ograničenje modela procjene troškova životnog ciklusa je mali broj podataka za treniranje i validaciju modela. Među odgovorima marina koje su dostavile ispunjeni upitnik bilo je nepotpunih podataka, a nakon usmenog telefonskog i terenskog prikupljanja i obrade podataka konačno se odazvalo 16 marina, od ukupnog broja od 37 marina koje odgovaraju kriteriju odabira. Broj godina, odnosno referentno razdoblje za koje su dostavljeni podaci o troškovima kretalo se od 3 do 11 godina, ovisno o tome kada je marina izgrađena i puštena u rad. U ovom istraživanju podatke je bilo gotovo nemoguće prikupiti online anketom, dok se nešto više uspjeha ostvarilo terenskim prikupljanjem podataka, međutim i dalje se ovakva vrsta podataka smatra tajnim i komercijalno osjetljivim. Kako bi se utvrdila stvarna primjenjivost na sve pontone i sidrene sustave u marinama, potrebno je povećati uzorak. Drugo ograničenje modela odnosi se na broj godina za koje se procjenjuju troškovi uporabe pontona. Kako prikupljeni podaci govore o troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine za kratko razdoblje od 11 godina, potrebno je nastaviti s prikupljanjem i obradom podataka kako bi se utvrdilo razdoblje za koje se troškovi mogu procijeniti i usporediti.

5.11. Sažeti prikaz rezultata i odabir modela

U ovome dijelu poglavlja prikazat će se usporedba dobivenih rezultata te usvojeni modeli procjene troškova uporabe i troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava pontona i plovila. Istraživačka analiza prikupljenih podataka za stvaranje okvirnog modela i hipoteze u iterativnom procesu određivanja značajki modela odrađena je pomoću programskog jezika Python. Za kvantifikaciju korelacije između ovisnih i neovisnih varijabli izračunat je Pearsonov koeficijent te su izračunate vrijednosti korelacije svih neovisnih varijabli preliminarnog modela procjene troškova s ovisnim varijablama – troškovima uporabe, odnosno troškovima životnog ciklusa. Analizom podataka utvrđeno je da postoji nekoliko izraženijih korelacija između neovisnih varijabli i troškova, kao i nekoliko izraženih negativnih korelacija među neovisnim varijablama. Ustanovljeno je da klimatološko-geografski parametri ne utječu značajno na povećanje odnosno smanjenje troškova uporabe i troškova životnog ciklusa. Visoka vrijednost korelacije u odnosu troškova uporabe i duljine pontonskih gatova (koeficijent korelacije 0,84) i broja pontonskih vezova (koeficijent korelacije 0,72) ukazuje na povećanje troškova uporabe što su postavljeni pontoni dulji i imaju veći broj vezova. Analizom varijabli u odnosu na troškove životnog ciklusa uočena je izražena pozitivna korelacija s duljinom pontonskih gatova (koeficijent korelacije 0,79) i prosječnim brojem korisnika (koeficijent korelacije 0,7). Što su postavljeni pontoni dulji i imaju veći broj korisnika, viši su i troškovi životnog ciklusa.

Odabirom značajnijih varijabli, koji prethodi razvoju modela procjene troškova uklonjene su neovisne varijable s najvišom međusobnom korelacijom (većom od 0,6). Jedna od jače izraženih negativnih korelacija s koeficijentom -0,7 je ona između temperature mora i utjecaja morskih mijena na troškove uporabe marine, stoga je varijabla utjecaja morskih mijena uklonjena iz daljnjeg modeliranja kako bi se povećala učinkovitost generalizacije modela. Od pozitivnih korelacija neovisnih varijabli prikazana je jaka korelacija broja pontonskih vezova s površinom morskog akvatorija (koeficijent korelacije 0,87) i duljinom pontonskih gatova (koeficijent korelacije 0,85), te je uklonjena varijabla broja pontonskih vezova iz daljnjeg modeliranja. Kako duljina pontonskih gatova izraženo korelira i s drugim varijablama (površina morskog akvatorija – 0,81; broj pontonskih gatova – 0,69; broj vezova duljine 12-15 m – 0,63 te prosječni broj

korisnika – 0,69) i ta varijabla uklonjena je za razvoj modela. Odabrane varijable koje su poslužile za formulaciju modela navedene su u tablici 19.

Tablica 19 Popis odabranih varijabli za razvoj modela procjene troškova

ODABRANA VARIJABLA	OPIS VARIJABLE	JEDINICA MJERE
v1	Temperatura mora	skala 1-5
v2	Utjecaj vjetra	skala 1-5
v4	Površina morskog obuhvata koncesije	m ²
v5	Broj pontonskih gatova	Br
v7	Drvena hodna površina	da/ne
v9	Broj vezova za plovila duljine od 5-8 m	Br
v10	Broj vezova za plovila duljine od 8-10 m	Br
v11	Broj vezova za plovila duljine od 10-12 m	Br
v13	Broj vezova za plovila duljine od 15-19 m	Br
v14	Broj vezova za plovila duljine veće od 19 m	Br
v17	Troškovi koncesije	Kn

U daljnjem tijeku istraživanju su se koristili sljedeći algoritmi strojnog učenja:

- Slučajne šume
- Neuronske mreže
- Potporni vektori i
- Podizanje gradijenta.

Navedenim algoritmima ispitali su se međudnosi neovisnih varijabli s varijablama troškova uporabe i troškova životnog ciklusa pontona, dobivenima nakon obrade i analize podataka te diskontiranja troškova. U tablici 20 prikazani su rezultati srednje apsolutne pogreške i točnosti svih modela nakon validacije.

Tablica 20 Usporedba dobivenih rezultata svih validiranih modela

Model	Algoritam	MAE	Točnost
Model procjene troškova uporabe	RF	173.819,97 kn	78,92 %
Model procjene troškova uporabe	NN	311.528,53 kn	61,46 %
Model procjene troškova životnog ciklusa	SVM	373.185,31 kn	67,51 %
Model procjene troškova životnog ciklusa	GB	814.437,05 kn	21,56 %

Točnost modela procjene troškova uporabe dobivena algoritmom slučajne šume na temelju analize podataka 16 marina može se klasificirati kao prihvatljiva s aspekta prikladnosti za donositelja odluka, obzirom da točnost iznosi 78,92 % i srednja apsolutna pogreška iznosi 173.819,97 kn. Za usporedbu s navedenim modelom, model procjene troškova uporabe dobiven algoritmom neuronske mreže može se odbaciti kao neprihvatljiv za donositelja odluke. Model procjene troškova životnog ciklusa pontona dobiven algoritmom podizanja gradijenta može se upotrijebiti za okvirnu procjenu troškova s obzirom da je dobivena točnost modela 67,51 %, odnosno 373.185,31 kn, što u usporedbi s ukupnim troškovima životnog ciklusa nije značajan iznos, ali nije niti zanemariva pogreška. Model procjene troškova životnog ciklusa dobiven algoritmom podizanja gradijenta nije prihvatljiv za korištenje s aspekta prihvatljivosti za donositelja odluka obzirom na izrazito nisku točnost od 21,56 % (814.437,05 kn).

5.11.1. Model procjene troškova uporabe

Usvojeni model procjene troškova uporabe je model dobiven RF algoritmom, sa srednjom apsolutnom pogreškom od 173.819,97 kn te najvišom dobivenom točnošću od 78,92 %. Varijable potrebne za procjenu troškova su troškovi koncesije, površina morskog akvatorija, broj pontonskih gatova, broj vezova duljine 5-8 m, 10-12 m, 15-19 m, broj vezova preko 19 m duljine te utjecaj vjetra.

Prednosti primjene navedenog modela procjene troškova uporabe na pontonima i sidrenom sustavu marine su sljedeći:

- jednostavnost primjene modela,
- sve navedene varijable sadržavaju podatke do kojih je relativno jednostavno doći već prilikom odabira lokacije za gradnju marine i prilikom projektiranja marine,
- već u samoj fazi projektiranja marine, s obzirom na navedene varijable, moguće je procijeniti troškove uporabe pontona i sidrenog sustava marine, a samim time i procijeniti i vrednovati različita projektna rješenja,

- primjena modela procjene troškova uporabe podrška je sustavu upravljanja i održavanja postojeće i buduće marine u donošenju odluka prilikom odabira i razmještaja pontona te odabir i broj vezova u ovisnosti o duljini plovila.

Ograničenja primjene navedenog modela procjene troškova uporabe na pontonima i sidrenom sustavu marine su sljedeća:

- mali broj podataka za treniranje i validaciju modela,
- nemogućnost prikupljanja podataka. Među odgovorima marina koje su dostavile ispunjeni upitnik bilo je nepotpunih podataka, a nakon usmenog telefonskog i terenskog prikupljanja i obrade podataka konačno se odazvalo 16 marina, od ukupnog broja od 37 marina koje odgovaraju kriteriju odabira. I dalje se ovakva vrsta podataka smatra tajnim i komercijalno osjetljivim.
- broj godina, odnosno referentno razdoblje za koje su dostavljeni podaci o troškovima kretalo se od 3 do 11 godina, ovisno o tome kada je marina izgrađena i puštena u rad. Kako prikupljeni podaci govore o troškovima uporabe pontona i sidrenog sustava marine za kratko razdoblje od 11 godina, potrebno je nastaviti s prikupljanjem i obradom podataka kako bi se utvrdilo razdoblje za koje se troškovi mogu procijeniti i usporediti.

5.11.2. Model procjene životnog ciklusa

Usvojeni model procjene troškova životnog ciklusa je model dobiven SVM algoritmom, sa srednjom apsolutnom pogreškom od 373.185,31 kn te dobivenom točnošću od 67,51 %. Za procjenu troškova životnog ciklusa potrebne su sljedeće varijable: temperatura mora, utjecaj vjetra, površina morskog akvatorija, broj pontonskih gatova, drvena hodna površina, broj vezova duljine 5-8 m, 8-10 m, 10-12 m, 15-19 m, broj vezova preko 19 m duljine te troškovi koncesije.

Prednosti primjene navedenog modela procjene troškova životnog ciklusa na pontonima i sidrenom sustavu marine su sljedeći:

- jednostavnost primjene modela,
- sve navedene varijable sadržavaju podatke do kojih je relativno jednostavno doći već prilikom odabira lokacije za gradnju marine, i prilikom projektiranja marine,
- već u samoj fazi projektiranja marine, s obzirom na navedene varijable, moguće je procijeniti troškove uporabe pontona i sidrenog sustava marine, a samim time i procijeniti i vrednovati različita projektna rješenja,
- primjena modela procjene troškova životnog ciklusa podrška je sustavu upravljanja i održavanja postojeće i buduće marine u donošenju odluka prilikom odabira i razmještaja pontona te odabir i broj vezova u ovisnosti o duljini plovila.

Ograničenja primjene navedenog modela procjene troškova uporabe na pontonima i sidrenom sustavu marine su sljedeća:

- mali broj podataka za treniranje i validaciju modela,
- nemogućnost prikupljanja podataka. Među odgovorima marina koje su dostavile ispunjeni upitnik bilo je nepotpunih podataka, a nakon usmenog telefonskog i terenskog prikupljanja i obrade podataka konačno se odazvalo 16 marina, od ukupnog broja od 37 marina koje odgovaraju kriteriju odabira. I dalje se ovakva vrsta podataka smatra tajnim i komercijalno osjetljivim.
- broj godina, odnosno referentno razdoblje za koje su dostavljeni podaci o troškovima kretalo se od 3 do 11 godina, ovisno o tome kada je marina izgrađena i puštena u rad. Kako prikupljeni podaci govore o troškovima uporabe pontona i sidrenog sustava marine za kratko razdoblje od 11 godina, potrebno je nastaviti s prikupljanjem i obradom podataka kako bi se utvrdilo razdoblje za koje se troškovi mogu procijeniti i usporediti.

6. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNJA ISTRAŽIVANJA

Svrha ove doktorske disertacije bila je istražiti mogućnost upravljanja troškovima životnog ciklusa u marinama razvojem modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine. U tu svrhu analizirali su se dostupni podaci prikupljeni u marinama na području Republike Hrvatske, za razdoblje od 2008. do 2018. godine o troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava u marinama, uključujući i troškove održavanja i troškove uporabe. Obuhvat rada ograničen je na analizu podataka o pontonima i sidrenom sustavu pontona i plovila marina čiji su pontoni sidreni konopima i lancima sa sidrenim blokovima. Poznavanje strukture troškova životnog ciklusa marine važan je dio procesa upravljanja marinama, koji bi se trebao zasnivati na znanstveno istraženim i praktično potvrđenim metodama, posebice u trenutku koncipiranja i odabira načina gradnje marine. U Hrvatskoj do sada nije provedeno istraživanje o navedenim troškovima, te do sada nisu ni postojali podaci, odnosno baze podataka o troškovima koje bi omogućile statističku obradu radi modeliranja troškova životnog ciklusa pontona.

Kako bi se riješila problematika upravljanja marinama koja djelomično potječe od manjka provjerenih podataka potrebnih za odlučivanje, njihovog prikupljanja, načina obrade i pohranjivanja u baze podataka, prikupljeni su podaci o troškovima pomoću poslanih upitnika i terenskim istraživanjem. Traženi su opći podaci o uporabi i karakteristikama građevine te podaci o troškovima prema unaprijed definiranoj strukturi. Definiranjem baze podataka ispunili su se pomoćni ciljevi navedeni u uvodnom dijelu ovoga rada: stjecanje uvida u mogućnost prikupljanja povijesnih podataka o održavanju i uporabnim troškovima pontonskih gatova, dobivanje podataka o stvarnim troškovima životnog ciklusa gatova te definiranje baze podataka o troškovima životnog ciklusa pontonskih gatova. Jedini cilj koji je djelomično ostvaren prilikom provedbe istraživanja i analize podataka u ovome radu je određivanje i identificiranje udjela troškova u ukupnim troškovima životnog ciklusa pontonskih gatova u marinama na području Republike Hrvatske. Naime, određeni su udjeli pojedinih skupina troškova u prosjeku na bazi 16 analiziranih marina. Razlog tomu je specifičnost marine kao građevine, koja se očituje u činjenici da je procjena vijeka trajanja pontona 20-25 godina, što je osjetno kraće od vijeka trajanja

građevina na kojima su provedena neka od dosadašnjih istraživanja. Prilikom određivanja i identifikacije udjela troškova u ukupnim troškovima životnog ciklusa, važno je razlučiti investicijska ulaganja od troškova održavanja i zamjene, što u ovom dijelu istraživanja nije bilo moguće napraviti u potpunosti. Naime, dio investicijskih ulaganja u proširenje nekih od marina poklapao se sa zamjenom starih i istrošenih pontona i sidrenog sustava marine, pa se troškovi nisu mogli decidirano dodijeliti troškovima ulaganja odnosno troškovima zamjene starih dijelova. Djelomično ispunjen cilj svakako je u planu u potpunosti ispuniti na način da se u dogovoru s donositeljima odluka u upravljanju marinama, a ponajprije s osobama ključnim za računovodstveno vođenje svih ulaganja i troškova, detaljnije definira baza podataka te sukladno dogovoru prikupiti, obraditi i analizirati podataka na odgovarajući način.

Osnovni cilj istraživanja bila je formulacija modela pomoću kojega je moguće upravljati troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine radi kvalitetnijeg upravljanja marinama od donositelja odluka u upravljanju marinama. U poglavlju 4. uspostavljena je osnovna razina modela, u kojemu je prikazana usporedba različitih modela strojnog učenja. U radu su primijenjene različite metode strojnog učenja, kako bi se mogli ispitati međuodnosi prikupljenih podataka. Istraživanje je obuhvatilo utvrđivanje svih izravnih i neizravnih troškova, oblikovanje osnovnih modela strojnog učenja, njihovu usporedbu te odabir najpovoljnijeg modela s optimalnim odabirom broja ulaznih varijabli i optimizacijom parametara modela u ovisnosti o računalno i podatkovno dostupnim resursima. Posebno su prikazani modeli za procjenu troškova životnog ciklusa te modeli procjene troškova uporabe pontona i sidrenog sustava marine. Odabrane su najpovoljnije varijante modela, koje su u sljedećem poglavlju, poglavlju 5, razvijene prema zakonitostima strojnog učenja. Dan je prikaz modela procjene troškova uporabe i modela procjene troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine koji su rezultat provedenog istraživanja. Prikazane su potrebne varijable za procjenu tih troškova, kao i prednosti i ograničenja uporabe modela, čime je ispunjen pomoćni cilj definiranja statistički značajnih neovisnih varijabli potrebnih za uspostavu matematičkih modela, koji bi se mogli koristiti za predviđanje troškova uporabe i troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine. Ovim radom postavila se osnova za razvoj jednostavnog i jedinstvenog modela za predviđanje troškova životnog ciklusa koji se temelji na klimatološkim i

geografskim karakteristikama lokacije na kojoj su pontoni postavljeni, te na parametrima koji se određuju prilikom projektiranja marine.

Dobiveni modeli omogućavaju povećanje razine kvalitete odlučivanja te daju osnovu za razvoj modela u smjeru kvantitativne usporedbe različitih mogućnosti gradnje, čime je potvrđena polazna hipoteza rada. Polazna hipoteza rada temeljila se na pretpostavci da je moguće upravljati troškovima i unaprijediti proces donošenja odluka u upravljanju i održavanju marina primjenom unaprijed utemeljene strukture troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine pomoću matematičkih izraza kojima se opisuje međusobna ovisnost komponenti troškova. Dobivenim modelima potvrđena je i pomoćna hipoteza rada: „Izradom i primjenom matematičkog modela koji se može koristiti za predviđanje troškova životnog ciklusa na upravljanje pontonima i sidrenim sustavom marine može se utvrditi utjecaj pojedinih parametara na ukupne troškove životnog ciklusa pontona te unaprijediti kvaliteta procesa donošenja odluka vezanih uz proces održavanja marina.“

Definirane su prednosti i ograničenja modela procjene troškova uporabe i modela procjene troškova životnog ciklusa. Osnovna prednost primjene oba modela je podrška sustavu upravljanja i održavanja postojeće i buduće marine u donošenju odluka prilikom odabira i razmještaja pontona te odabir i broj vezova u ovisnosti o duljini plovila. Osnovno ograničenje oba modela je mali broj podataka za treniranje i validaciju modela. U ovom istraživanju podatke je bilo gotovo nemoguće prikupiti online anketom, dok se nešto više uspjeha ostvarilo terenskim prikupljanjem podataka. Primjenom modela moguće je planirati proračun troškova životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine za određena razdoblja.

6.1. Smjernice za daljnja istraživanja

Istraživanja i rezultati obuhvaćeni ovom disertacijom podloga su budućim istraživanjima. Da bi se povezao teoretski pristup proračunu troškova životnog ciklusa pontona s praktičnim potrebama korisnika te utvrdila stvarna primjenjivost na sve pontone i sidrene sustave u marinama, potrebno je proširiti istraživanje na što veći broj marina na razini Hrvatske, ali i

Europske Unije. Povećanjem broja valjanih podataka može se dobiti potvrda dobivenih rezultata provedenog istraživanja i ispitati primjenjivost modela. Prikupljanjem i ažuriranjem baza podataka smanjila bi se razina nepouzdanosti i nesigurnosti predviđanja budućih troškova životnog ciklusa pontona. Kako prikupljeni podaci govore o troškovima životnog ciklusa pontona i sidrenog sustava marine za kratko razdoblje od 11 godina, potrebno je ispitati vremensko ograničenje primjenjivosti modela procjene troškova te nastaviti s prikupljanjem i obradom podataka da bi se utvrdilo razdoblje za koje se troškovi mogu procijeniti i usporediti.

U planu je nastavak istraživanja o troškovima životnog ciklusa fiksnih pontona, kako bi bila moguća usporedba troškova i određivanje ekonomske isplativosti dvaju projektnih rješenja koji se najčešće koriste u projektiranju i gradnji marina. Daljnja istraživanja svakako bi trebala uključiti i razvoj zajedničkog sustava prikupljanja i obrade podataka o ukupnim troškovima životnog ciklusa cijelog sustava marina, uključujući i kopneni dio građevine na razini Republike Hrvatske, a u skladu s europskim propisima i normom HRN ISO 15686 – 5. dio. Bez navedenoga neće biti moguća usporedba troškova, kao i drukčijih mogućih projektnih rješenja.

POPIS LITERATURE

- Abraham, D. i Dickinson, R. (1998.). Disposal costs for environmentally regulated facilities: LCC approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(2), str. 146–154.
- Agencija za zaštitu tržišnog natjecanja (2008.). *Referentne kamatne stope*. Dostupno na: <http://www.aztn.hr/> (Pristupljeno: 15. ožujak 2020.).
- Ahmed, N. U. (1995.). A design and implementation model for life cycle cost management system. *Information & Management*, 28, str. 261–269.
- Al-Hajj, A. N. (1991.). *Simple cost-significant models for total life-cycle costing in buildings*. PhD. Department of Civil Engineering of the University of Dundee.
- Al-Hajj, A. N. i Horner, M. W. (1998.). Modelling the Running Costs of Buildings. *Construction Management and Economics*, 16, str. 459–770.
- Alpaydin, E. (2009.). *Introduction to Machine Learning*. 2nd ed. Cambridge: The MIT Press.
- Alwaer, H. i Clements-Croome, D. J. (2010.). Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings. *Building and Environment*, 45(4), str. 799–807.
- Amaratunga, D., Baldry, D. i Sarshar, M. (2000.). Assessment of facilities management performance – what next?. *Facilities*, 18(1/2), str. 66–75.
- Ammar, M., Zayed, T. i Moselhi, O. (2013.). Fuzzy-Based Life-Cycle Cost Model for Decision Making under Subjectivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(5), str. 556–563.
- Anderson, T. i Brandt, E. (1999.). The use of performance and durability data in assessment of life time serviceability. u Lacasse, M. A. i Vanier, D. J. (ur.) *Durability of Building Materials and Components 8*. Ottawa: Institute for Research in Construction, str. 1813–1820.
- Aouad, G., Bakis, N., Amaratunga, D., Osbaldiston, S., Sun, M., Kishk, M., Al-Hajj, A. i Pollock, R. (2001.). an Integrated Life Cycle Costing Database: a Conceptual Framework. u Akintoye, A. (ur.) *17th Annual ARCOM Conference*. Salford: University of Salford, str. 421–431.
- Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data - AVISO+* (2020.). Dostupno na: <https://www.aviso.altimetry.fr/home.html> (Pristupljeno: 09. veljača 2020.).
- Arja, M., Sauce, G. i Souyri, B. (2009.). External uncertainty factors and LCC: A case study.

Building Research and Information, 37(3), str. 325–334.

Arshad, A. (2012.). Net Present Value is better than Internal Rate of Return. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research In Business*, 4(8), str. 211–219.

Ashworth, A. i Perera, S. (2015.). *Cost Studies of Buildings*. 6th ed. Oxon: Routledge.

Asiedu, Y. i Gu, P. (1998.). Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International Journal of Production Research*, 36(4), str. 883–908.

Baccarini, D. (2004.). Estimating project cost contingency - a model and exploration of research questions. u Khosrowshahi.F. (ur.) *ARCOM 20th Annual Conference*. Edinburgh: The Heriot-Watt University, str. 105–113.

Bajić, A., Šahdan, S. I. i Horvath, K. (2007.). Prostorna razdioba brzine vjetra na području hrvatske dobivena numeričkim modelom atmosfere aladin. *Hrvatski Meteorološki Časopis*, 42, str. 67–77.

Bakis, N., Kagiouglou, M., Aouad, G. i Amaratunga, D. (2003.). An Integrated Environment for Life Cycle Costing in Construction. u *Construction IT Bridging the Distance*. Auckland: CIB.

Balabin, R. M. i Lomakina, E. I. (2011.). Support vector machine regression (SVR/LS-SVM) - An alternative to neural networks (ANN) for analytical chemistry? Comparison of nonlinear methods on near infrared (NIR) spectroscopy data. *Analyst*, 136(8), str. 1703–1712.

Behrens, J. T. (1997.). Principles and Procedures of Exploratory Data Analysis. *Psychological Methods*, 2(2), str. 131–160.

Blank, L. i Tarquin, A. (2011.). *Engineering Economy*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.

Blyth, A. i Worthington, J. (2010.). *Managing the brief for better design*. 2nd ed. Oxon: Routledge.

Boussabaine, A. H. (2007.). *Cost planning of PFI and PPP building projects*. Oxon: Routledge.

Boussabaine, A. H. i Kirkham, R. J. (2004.). *Whole Life-cycle Costing: risk and risk responses*. Oxford: Blackwell.

Breiman, L. (2001.). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), str. 5–32.

Bromilow, F. J. i Pawsey, M. R. (1987.). Life cycle cost of university buildings. *Construction Management and Economics*, 5(4), str. 3–22.

Brownlee, J. (2020.). How to Calculate Feature Importance With Python. *Machine Learning Mastery*. Dostupno na: <https://machinelearningmastery.com/calculate-feature-importance->

with-python/ (Pristupljeno: 24. veljača 2020.).

Bryan, N. S., Rosen, J. J. i Marland, N. T. (1980.). A New Life Cycle Cost Model: Flexible, Interactive and Controversia. *Defense Management Journal*, 16(3), str. 2–7.

BSI The International Organization for Standardization (1974.). *BS3811: British standard glossary of maintenance of physical resources, Department of Industry*. London: BSI.

BSI The International Organization for Standardization (2004.). *ISO/DIS 15686-5 „Buildings and constructed assets – Service life planning“, Part 5: Whole life costing*. London: BSI.

BSI The International Organization for Standardization (2013.). *BS 6349-1-1:2013 Maritime works – Part 1-1 : General – Code of practice for planning and design for operations*. London: BSI.

BSI The International Organization for Standardization (2017.). *ISO/DIS 15686:2017 „Buildings and constructed assets – Service life planning“, Part 5: Whole Life Costing*. London: BSI.

Buchet, R. i Borea D’Olmo, J. B. (2011.). *Guidelines for Superyacht Marinas*.

Bull, J. W. (2003.). *Life Cycle Costing for Construction*. Taylor & Francis e-Library.

Byrne, P. (1997.). Fuzzy DCF: a Contradiction in Terms, or a Way to Better Investment Appraisal?. u *Proceedings of Cutting Edge ‘97*. London: RICS.

Caruana, R. i Niculescu-Mizil, A. (2006.). An empirical comparison of supervised learning algorithms. u *ICML ‘06: Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning*. New York: Association for Computing Machinery, str. 161–168.

Castro-Santos, L., Filgueira-Vizoso, A., Lamas-Galdo, I. i Carral-Couce, L. (2018.). Methodology to calculate the installation costs of offshore wind farms located in deep waters. *Journal of Cleaner Production*, 170, str. 1124–1135.

Castro-Santos, L., Prado, G. i Diaz-Casas, V. (2013.). Methodology to study the life cycle cost of floating offshore wind farms. u *10th Deep Sea Wind R&D Conference*. Trondheim, str. 179–186.

Chai, T. i Draxler, R. R. (2014.). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? –Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), str. 1247–1250.

Chakure, A. (2019.). Random Forest Regression. *Towards Data Science*. Dostupno na: <https://towardsdatascience.com/random-forest-and-its-implementation-71824ced454f> (Pristupljeno: 01. ožujak 2020.).

Chiurugwi, T., Udeaja, C., Babatunde, S. i Ekundayo, D. (2015.). Life cycle costing in construction projects: professional quantity surveyors' perspective. u Egbu.C. (ur.) *Going north for sustainability: Leveraging knowledge and innovation for sustainable construction and development*. London: London South Bank University, str. 40–49.

Clift, M. (2003.). Life-cycle costing in the construction sector. *Industry And Environment*, 26(2–3), str. 37–41.

Cortes, C. i Vapnik, V. (1995.). Support-Vector Networks. *Machine Learning*, 20, str. 273–297.

COWI (2016.). Marinas. *International consulting group within engineering, economics and environmental science*. Dostupno na: <http://www.publications.cowi.com/cowi/79/html5/> (Pristupljeno: 03. rujan 2018.).

Cuéllar-Franca, R. M. i Azapagic, A. (2014.). Life cycle cost analysis of the UK housing stock. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), str. 174–193.

Čulo, K. (2010.). *Ekonomika investicijskih projekata*. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Građevinski fakultet.

Davis Langdon Management Consulting (2007.). *Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology (Final Report)*. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/5054/attachments/1/translations/en/renditions/native> (Pristupljeno: 05. ožujak 2017.).

Deb, K. (2001.). *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

Dhillon, B. S. (2010.). *Life Cycle Costing for Engineers*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Diamantoulaki, I. i Angelides, D. C. (2013.). Risk-based maintenance scheduling using monitoring data for moored floating breakwaters. *Structural Safety*, 41, str. 107–118.

Dogan, K. i Mršić, T. (2013.). Očuvanje prirodnih resursa nautičkog turizma u Republici Hrvatskoj. *Pomorski zbornik*, 47–48, str. 73–85.

Duyan, Ö. i Ciroth, A. (2013.). Life Cycle Costing Quick Explanation: Two different methods to perform Life Cycle Costing in openLCA. *Open LCA*. Dostupno na: <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/How-to-perform-Life-Cycle-Costing-in-openLCA.pdf> (Pristupljeno: 27. lipanj 2019.).

Edwards, P. J. i Bowen, P. A. (1998.). Practices, barriers and benefits of risk management process in building services cost estimation: comment. *Construction Management and Economics*, 16, str. 105–108.

Edwards, S., Bartlett, E. i Dickie, I. (2000.). *Whole life costing and life-cycle assessment for sustainable building design*. BRE Electronic Publications.

El-Haram, M. A., Marenjak, S. i Horner, M. W. (2002.). Development of a generic framework for collecting whole life cost data for the building industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(2), str. 144–151.

El-Haram, M. A., Marenjak, S. i Horner, R. M. W. (2006.). Whole Life Costing in the Building Industry: A Case Study. u *Construction in the XXI Century: Local and Global Challenges (CIB Symposium)*. Rim: CIB.

Ellis, B. (2007.). Life Cycle Cost. u *International Conference of Maintenance Societies*. [online], str. 1–8. Dostupno na: https://www.academia.edu/5837582/Life_Cycle_Cost (Pristupljeno: 16. siječanj 2017.).

Elmualim, A., Valle, R. i Kwawu, W. (2012.). Discerning policy and drivers for sustainable facilities management practice. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(1), str. 16–25.

Emblemsvåg, J. (2003.). *Life-cycle costing: Using activity-based costing and Monte Carlo methods to manage future costs and risks*. New Jersey: Wiley.

Engelhardt, M., Savic, D., Skipworth, P., Cashman, A., Saul, A. i Walters, G. (2003.). Whole life costing: application to water distribution network. *Water Sci Technol: Water Supply*, 3(1–2), str. 87–93.

Estes, A. C. i Frangopol, D. M. (2001.). Minimum expected cost-oriented optimal maintenance planning for deteriorating structures: application to concrete bridge decks. *Reliability Engineering & System Safety*, 73(3), str. 281–291.

European Commission (2008.). *Official Journal of the European Union*.

European Commission (2013.). *Base rates calculated in accordance with the Commission communication of 19.01.2008*. Dostupno na: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/legislation/reference_rates.html (Pristupljeno: 03. travanj 2020.).

European Commission (2018.). *Reference and discount rates (in %) since 01.08.1997*. Dostupno

na: https://ec.europa.eu/competition/state_aid/legislation/reference_rates.html
(Pristupljeno: 03. travanj 2020.).

Europski parlament i Vijeće Europske unije (2014.). Direktiva 2014/24/EU Europskog Parlamenta i Vijeća. *Službeni list Europske unije*, 94, str. 65–242.

Fabrycky, W. J. i Blanchard, B. S. (1991.). *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. New Jersey: Printice-Hall, Inc.

Ferens, D. V (1988.). Software Parametric Cost Estimation: Wave of the Future. *Engineering Cost and Production Economics*, 14(2), str. 157–164.

Ferry, D. J. O. i Flanagan, R. (1991.). *Life Cycle Costing - A Radical Approach (CIRIA Report)*. London: Construction Industry Research and Information Association.

Finch, E. F. (1994.). The uncertain role of life cycle costing in the renewable energy debate. *Renewable Energy*, 5(5–8), str. 1436–1443.

Flanagan, R., Kendell, A., Norman, G. i Robinson, G. (1987.). Life Cycle Costing and Risk Management. *Construction Management and Economics*, 5, str. 53–71.

Flanagan, R., Norman, G., Meadows, J. i Robinson, G. (1989.). *Life Cycle Costing Theory and Practice*. Oxford: BSP Professional Books.

Flanagan, R. i Jewell, C. (2005.). *Whole Life Appraisal for Construction*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

Flanagan, R. i Norman, G. (1993.). *Risk Management and Construction*. Oxford: Wiley-Blackwell.

Frangopol, D. M., Lin, K.-Y. i Estes, A. C. (1997.). Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures. *Journal of Structural Engineering*, 123, str. 1390–1401.

Frangopol, D. M. i Liu, M. (2007.). Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost. *Structure and Infrastructure Engineering*, 3(1), str. 29–41.

Fuller, S. K. i Petersen, S. R. (1996.). *Life-cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program*. Washington: U.S. Government Printing Office.

Gluch, P. i Baumann, H. (2004.). The life cycle costing (LCC) approach: A conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment*, 39(5), str. 571–580.

Goumas, M. G., Lygerou, V. A. i Papayannakis, L. E. (1999.). Computational methods for planning

and evaluating geothermal energy projects. *Energy Policy*, 27, str. 147–154.

Grgić, M. (2017.). *The Estimation of the Adriatic Sea Level Variability and Changes Based on Multi-Satellite Altimetry Data*. PhD. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Griffin, J. J. (1993.). Life cycle cost analysis: a decision aid. u Bull.J. W. (ur.) *Life cycle costing for construction*. Glasgow, UK: Blackie Academic & Professional, str. 135–146.

Groen, A. (2017.). Simple Starter - RandomForest Regressor. *Kaggle*. Dostupno na: <https://www.kaggle.com/arjanso/simple-starter-randomforest-regressor> (Pristupljeno: 06. svibanj 2020.).

Haapio, A. i Viitamiemi, P. (2008.). Environmental effect of structural solutions and building materials. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(8), str. 587–600.

Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, Ma. H. i Jesus, O. De (2014.). *Neural network design*. 2nd ed.

Haykin, S. (2009.). *Neural networks and learning machines*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Hermans, M. H. (1999.). Building performance starts at Hand-Over: the importance of life span information. u Lacasse.M. A. i Vanier.D. J. (ur.) *Durability of Building Materials and Components 8*. Ottawa: Institute for Research in Construction, str. 1867–1873.

HM Treasury (2003.). Appraisal and Evaluation in Central Government. u *The Green Book*. London: HM Treasury.

HM Treasury (2018.). *The Green Book*. London: HM Treasury.

Hoar, D. i Norman, G. (1977.). Life cycle cost management. u Brandon.P. S. (ur.) *Quantity surveying techniques - new directions*. Oxford: BSP Professional Books.

Hodges, N. W. (1996.). *The Economic Management of Physical Assets*. London: Wiley.

Hrvatski registar brodova (2019.). Opći zahtjevi - Tipska odobrenja za proizvode. u *Pravila za klasifikaciju brodova*. Split: Hrvatski registar brodova.

Hrvatski registar brodova (2020.). *Odobreni pontoni i valobrani*. Dostupno na: <http://www.crs.hr/Data/Tipnaodobrenja/Odobreniproizvodi/tabid/234/v/Potvrde/Rasclana/31/language/hr-HR/Default.aspx> (Pristupljeno: 15. travanj 2020.).

HSMO (1992.). *Life cycle costing*. London: HM Treasury, Her Majesty's Stationery Office.

Hui, O. C. i Mohammed, A. H. (2015.). The Role of Cost Breakdown Structure in Life Cycle Cost Model. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 74(2), str. 117–121.

Hunkeler, D. i Rebitzer, G. (2003.). Life cycle costing - Paving the road to sustainable development?. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), str. 109–110.

Hunter, K., Hari, S. i Kelly, J. (2005.). A whole life costing input tool for surveyors in UK local government. *Structural Survey*, 23(5), str. 346–358.

INGEMAR S.r.l. (2020.). *INGEMAR - Floating pontoons [image]*. Dostupno na: <http://www.ingemar.it/en/products-services/product/Floating-pontoons-3#> (Pristupljeno: 27. ožujak 2020.).

International Facility Management Institute (2017.). *What is Facility Management?* Dostupno na: <https://www.ifma.org/about/what-is-facility-management> (Pristupljeno: 14. siječanj 2017.).

James, G., Witten, D., Hastie, T. i Tibshirani, R. (2013.). *An Introduction to Statistical Learning - with Applications in R*. New York: Springer.

Janeković, I. i Kuzmić, M. (2005.). Numerical simulation of the Adriatic Sea principal tidal constituents. *Annales Geophysicae*, 23(10), str. 3207–3218.

Jokić, J. i Martinčić-Ipšić, S. (2019.). Primjena šume slučajnih stabala za predviđanje ishoda šahovske partije reprezentirane kompleksnom mrežom. *Zbornik Veleučilišta u Rijeci*, 7(1), str. 31–52.

Jovanović, P. (1999.). Application of sensitivity analysis in investment project evaluation under uncertainty and risk. *International Journal of Project Management*, 17(4), str. 217–222.

Kamyk, Z. i Śliwiński, C. (2016.). Impact of Life Cycle Cost Analysis on the Pontoon. *Szybkie pojazdy gqsienicowe*, 40(2), str. 61–76.

Kelly, J. i Male, S. (2005.). *Value management in design and construction*. Taylor & Francis e-Library.

Keoleian, G. A., Kendall, A., Chandler, R., Helfand, G. E., Lepech, M. i Li, V. C. (2005.). Life-cycle cost model for evaluating the sustainability of bridge decks. u *Proceedings of the International Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems*. Cocoa Beach, str. 143–150.

Kirk, S. J. i Dell’Isola, A. J. (1995.). *Life Cycle Costing for Design Professionals*. 2nd ed. New York: McGrawHill Book Co. Inc.

Kirkham, R. J., Boussabaine, A. H., Grew, R. G. i Sinclair, S. P. (1999.). Forecasting the Running

Costs of Sport and Leisure. u Lacasse.M. A. i Vanier.D. J. (ur.) *Durability of Building Materials and Components 8*. Ottawa: Institute for Research in Construction, str. 1728–1738.

Kirkham, R. J., Alisa, M., Pimenta da Silva, A., Grindley, T. i Brøndsted, J. (2004.). Rethinking Whole Life Cycle Cost Based Design Decision-Making. u Khosrowshahi.F. (ur.) *20th Annual Conference and Annual Meeting*. Edinburgh: The Heriot-Watt University, str. 91–103.

Kirkham, R. J. (2005.). Re-engineering the whole life cycle costing process. *Construction Management and Economics*, 23(1), str. 9–14.

Kishk, M., Al-Hajj, A., Pollock, R., Aouad, G., Bakis, N. i Sun, M. (2003.). Whole Life Costing In Construction: A State of the Art Review. *RICS Research Paper Series*, 4(18). Dostupno na: <http://openair.rgu.ac.uk>.

Kishk, M., Al-Hajj, A., Pollock, R. i Aouad, G. (2005.). A Practical Cost Breakdown Structure for Effective Whole-Life Costing of Built Assets. u *Proceedings of the 2nd International Salford Centre for Research and Innovation (SCRI) Research Symposium in conjunction with the International Built and Human Environment Research Week*. Salford: University of Salford.

Kishk, M., Al-Hajj, A. i Pollock, R. (2002.). Handling Uncertain Information in Whole-Life Costing: A Comparative Study. *Risk Management*, 4(3), str. 59–70.

Kloepffer, W. (2008.). Life cycle sustainability assessment of products. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), str. 89–94.

Ko, W. I., Choi, J. W., Kang, C. H. i Lee, J. S. (1998.). Nuclear fuel cycle cost analysis using a probabilistic simulation technique. *Annals of Nuclear Energy*, 25, str. 771–789.

Koehrsen, W. (2017.). Random Forest in Python. *Towards Data Science*. Dostupno na: <https://towardsdatascience.com/random-forest-in-python-24d0893d51c0> (Pristupljeno: 02. ožujak 2020.).

Koehrsen, W. (2018.a). A Complete Machine Learning Project Walk-Through in Python: Part One. *Towards Data Science*. Dostupno na: <https://towardsdatascience.com/a-complete-machine-learning-walk-through-in-python-part-one-c62152f39420> (Pristupljeno: 02. ožujak 2020.).

Koehrsen, W. (2018.b). A Complete Machine Learning Walk-Through in Python: Part Two. *Towards Data Science*. Dostupno na: <https://towardsdatascience.com/a-complete-machine-learning-project-walk-through-in-python-part-two-300f1f8147e2> (Pristupljeno: 02. ožujak 2020.).

2020.).

Koehrsen, W. (2018.c). Hyperparameter Tuning the Random Forest in Python. *Towards Data Science*. Dostupno na: <https://towardsdatascience.com/hyperparameter-tuning-the-random-forest-in-python-using-scikit-learn-28d2aa77dd74> (Pristupljeno: 02. ožujak 2020.).

Koehrsen, W. (2018.d). Visualizing Data with Pairs Plots in Python. *Towards Data Science*. Dostupno na: <https://towardsdatascience.com/visualizing-data-with-pair-plots-in-python-f228cf529166> (Pristupljeno: 02. ožujak 2020.).

Kong, J. S., Asce, M., Frangopol, D. M. i Asce, F. (2003.). Evaluation of Expected Life-Cycle Maintenance Cost of Deteriorating Structures. *Journal of Structural Engineering*, 129(5), str. 682–691.

Korpi, E. i Ala-Risku, T. (2008.). Life cycle costing: a review of published case studies. *Managerial Auditing Journal*, 23(3), str. 240–261.

Krstić, H. (2011.). *Model procjene troškova održavanja i uporabe građevina na primjeru građevina Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku*. PhD. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Krstić, H. i Marenjak, S. (2012.). Analysis of buildings operation and maintenance costs. *Građevinar*, 64(4), str. 293–303.

Latham, M. (1994.). *Constructing the team: Joint Review of Procurement and Contractual Arrangements in the United Kingdom Construction Industry*. London: HMSO Publications Centre.

Lavy, S. (2008.). Facility management practices in higher education buildings. *Journal of Facilities Management*, 6(4), str. 303–315.

Law, J. i Smullen, J. (2005.). *A Dictionary of Finance and Banking*. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press.

Lepkova, N. i Uselis, R. (2013.). Development of a Quality Criteria System for Facilities Management Services in Lithuania. *Procedia Engineering*, 57, str. 697–706.

Levander, E., Schade, J. i Stehn, L. (2009.). *Life Cycle Cost Calculation Models For Buildings & Addressing Uncertainties About Timber Housing By Whole Life Costing Life Cycle Costing For Buildings: Theory And Suitability For Addressing Uncertainties About Timber Housing*. Luleå University of Technology.

Lewinson, E. (2019.). Random Forest Regressor. *GitHub Gist*. Dostupno na: <https://gist.github.com/erykml/6f17f3b1a24b868a489f34cc001fe1ed> (Pristupljeno: 12. ožujak 2020.).

Liaw, A. i Wiener, M. (2001.). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2/3(12), str. 18–22.

Lindholm, A. i Suomala, P. (2005.). Present and future of life cycle costing: reflections from Finnish companies. *Liiketaloudellinen Aikakauskirja*, 2, str. 282–292.

Ludvig, K. i Gluch, P. (2010.). Life Cycle Costing in Construction Projects – A Case Study of a Municipal Construction Client. u Soetanto.R. i Davies.J. W. (ur.) *Third International World of Construction Project Management Conference*. Coventry: Coventry University, str. 1–9.

MacKay, S. (1999.). Building for Life. *The Building Economist*, str. 4–9.

Marenjak, S., El-haram, M. A. i Horner, R. M. W. (2002.). Procjena ukupnih troškova projekata u visokogradnji. *Građevinar*, 54(7), str. 393–401.

Marović, I. (2013.). *Sustav za podršku odlučivanju u upravljanju vrijednostima nekretnina*. PhD. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Marušić, Z., Čorak, S. i Sever, I. (2015.). *Stavovi i potrošnja turista u Hrvatskoj*. Uredio Z. Marušić. Zagreb: Institut za turizam.

Matić, P. (2014.). *Kratkoročno predviđanje hidrološkog dotoka pomoću umjetne neuronske mreže*. PhD. Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.

McGeorge, J. F. (1992.). The Quality Approach To Design And Life Cycle Costing In The Health Service. u Bull.J. W. (ur.) *Life cycle costing for construction*. Glasgow, UK: Blackie Academic & Professional.

Mearig, T., Coffee, N. i Morgan, M. (1999.). *Life Cycle Cost Analysis Handbook*. Juneau: State of Alaska - Department of Education & Early Development.

Medanić, B., Pšunder, I. i Skendrović, V. (2005.). *Neki aspekti financiranja i financijskog odlučivanja u građevinarstvu*. Osijek: Građevinski fakultet.

Ministarstvo mora; prometa i infrastrukture i Ministarstvo turizma (2008.). *Strategija razvoja nautičkog turizma Republike Hrvatske za razdoblje 2009.-2019.*

Miranda, P. M., Bertolini, F. i Kadarmideen, H. N. (2019.). Investigation of gut microbiome association with inflammatory bowel disease and depression: A machine learning approach

[version 2; peer review: 2 approved with reservations]. *F1000Research*, 7.

Moghim, M. N. i Botshekan, M. (2017.). Analysis of the performance of pontoon-type floating breakwaters. *HKIE Transactions Hong Kong Institution of Engineers*, 24(1), str. 9–16.

Mukaka, M. M. (2012.). Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), str. 69–71.

Natekin, A. i Knoll, A. (2013.). Gradient boosting machines, a tutorial. *Front Neurobot*, 7(21).

Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3885826/>.

Neves, L. A. C., Frangopol, D. M. i Cruz, P. J. S. (2006.). Probabilistic Lifetime-Oriented Multiobjective Optimization of Bridge Maintenance: Single Maintenance Type. *Journal of Structural Engineering*, 132(6), str. 991–1005.

Nicolini, D., Tomkins, C., Holti, R., Oldman, A. i Smalley, M. (1999.). Can Target Costing and Whole Life Costing be Applied in the Construction Industry?: Evidence from Two Case Studies. *British Journal of Management*, 11(4), str. 303–324.

Nik-Mat, N. E. M., Kamaruzzaman, S. N. i Pitt, M. (2011.). Assessing the Maintenance Aspect of Facilities Management through a Performance Measurement System: A Malaysian Case Study. *Procedia Engineering*, 20, str. 329–338.

Norris, G. A. (2001.). Integrating life cycle cost analysis and LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(2), str. 118–120.

North Atlantic Treaty Organization (2009.). *Code of Practice for Life Cycle Costing*. Bruxelles: RTO Publication.

Öberg, M. (2005.). *Integrated Life Cycle Design - Applied to concrete multi-dwelling buildings*. PhD. Lund University.

Oduyemi, O. I. (2015.). *Life cycle costing methodology for sustainable commercial office buildings*. PhD. University of Derby.

Okasha, N. M. i Frangopol, D. M. (2009.). Lifetime-oriented multi-objective optimization of structural maintenance considering system reliability, redundancy and life-cycle cost using GA. *Structural Safety*, 31(6), str. 460–474.

Olubodun, F., Kangwa, J., Oladapo, A. i Thompson, J. (2010.). An appraisal of the level of application of life cycle costing within the construction industry in the UK. *Structural Survey*, 28(4), str. 254–265.

Onukwube, H. (2006.). Whole – Life Costing and Cost Management Framework for Construction Projects in Nigeria. u McDermott.P. i Khalfan.M. M. A. (ur.) *Sustainability and Value Through Construction Procurement*. Salford: University of Salford, str. 390–399.

Ozsariyildiz, S. i Tolman, F. (1998.). IT support for the very early design of buildings and civil engineering works. u Björk.B.-C. i Jägbeck.A. (ur.) *The life-cycle of Construction IT innovations. – Technology transfer from research to practice*. Stockholm: Royal Institute of Technology.

Paulson, B. C. (1976.). Designing to reduce construction costs. *Journal of Construction Devision*, (102), str. 587–592.

Peças, P., Ribeiro, I., Silva, A. i Henriques, E. (2013.). Comprehensive approach for informed life cycle-based materials selection. *Materials and Design*, 43, str. 220–232.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M. i Duchesnay, E. (2011.). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, str. 2825–2830.

Pelzeter, A. (2007.). Building optimisation with life cycle costs – the influence of calculation methods. *Journal of Facilities Management*, 5(2), str. 115–128.

Perera, O., Morton, B. i Perfrement, T. (2009.). *Life Cycle Costing: A Question of Value*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.

Peručić, D. (2016.). Razvoj, perspektive i investicije. *Hrvatsko pomorsko dobro - Stručni portal*. Dostupno na: <http://www.pomorskodobro.com/gost-doris-perucic.html> (Pristupljeno: 29. srpanj 2017.).

PIANC (2002.). *Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*.

Podofilini, L., Zio, E. i Vatn, J. (2006.). Risk-informed optimisation of railway tracks inspection and maintenance procedures. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(1), str. 20–35.

Potnik Galić, K. i Budić, H. (2013.). Model analize troškova životnog ciklusa proizvoda. *Računovodstvo i financije*, 10, str. 142–148.

Potts, K. i Ankrah, N. (2013.). *Construction Cost Management - Learning from case studies*. 2nd ed. Oxon: Routledge.

Python (2001.). Beaverton: Python Software Foundation.

Rahman, S. i Vanier, D. (2004.). Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing

municipal infrastructure. u *Building for the Future: The 16th CIB World Building Congress 2004*. Rotterdam.

Rebala, G., Ravi, A. i Churiwala, S. (2019.). *An Introduction to Machine Learning*. Springer.

Rodriguez-Galiano, V., Mendes, M. P., Garcia-Soldado, M. J., Chica-Olmo, M. i Ribeiro, L. (2014.). Predictive modeling of groundwater nitrate pollution using Random Forest and multisource variables related to intrinsic and specific vulnerability: A case study in an agricultural setting (Southern Spain). *Science of the Total Environment*, 476–477, str. 189–206.

Rondeau, E. P., Brown, R. K. i Lapidés, P. D. (2006.). *Facility Management*. 2nd ed. New York: Wiley.

Ross, N. W. i Wickford, R. (1988.). Marinas & Public Access. u *Ports and Harbors: Our Link to the Water*. Boston: Coastal Society, str. 321–326.

Ruegg, R. T. i Marshall, H. E. (1990.). *Building economics: theory and practice*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Sacks, A., Nisbet, A., Ross, J. i Harinarain, N. (2012.). Life cycle cost analysis: A case study of Lincoln on the Lake. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 10, str. 228–254.

Schade, J. (2007.). Life cycle cost calculation models for buildings. u Atkin, B. i Borgbrant, J. (ur.) *Proceedings of 4th Nordic Conference on Construction Economics and Organisation: Development Processes in Construction Management*. Luleå: Luleå University, str. 321–329.

Schmid, P. (2001.). The Life Cycle of Building. u Maiellaro, N. (ur.) *Towards Sustainable Building*. Dordrecht: Springer, str. 207–226.

SCI-Network (2011.). Whole Life Costing - Preliminary Report on: Available Tools and Guidance, Barriers to Implementing WLC, Income Streams, Future Forecasting of Energy., (June).

Seeley, I. H. (1996.). *Building Economics*. 3rd ed. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.

Shil, N. i Parvez, M. (2007.). Life cycle costing: an alternative selection tool. *Journal of Business Research*, 9, str. 49–68.

Singh, D. i Tiong, R. L. K. (2005.a). A Fuzzy Decision Framework for Contractor Selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(1), str. 62–70.

Singh, D. i Tiong, R. L. K. (2005.b). Development of life cycle costing framework for highway bridges in Myanmar. *International Journal of Project Management*, 23(1), str. 37–44.

Standards Australia (2010.). *AS 3962-2001 – Guidelines for design of marinas*. 2nd ed. Sydney:

Standards Australia.

Sterner, E. (2000.). Life-cycle costing and its use in the Swedish building sector. *Building Research & Information*, 28(5/6), str. 387–393.

Stewart, M. G. (2001.). Reliability-based assessment of ageing bridges using risk ranking and life cycle cost decision analyses. *Reliability Engineering and System Safety*, 74, str. 263–273.

Stone, P. A. (1960.). Economics of building design. *Journal of the Royal Statistical Society*, 123(3), str. 237–273.

STYRO (2020.). *Styro EPS for pontoon and buoy [image]*. Dostupno na: <https://www.styrouae.com/insulation-and-construction/styro-eps-for-pontoon-and-buoy/> (Pristupljeno: 14. svibanj 2020.).

Sun, Y. i Carmichael, D. G. (2017.). Uncertainties related to financial variables within infrastructure life cycle costing: a literature review. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2479, str. 1–12.

Swarr, T. E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H. L., Ciroth, A., Brent, A. C. i Pagan, R. (2011.). Environmental life-cycle costing: A code of practice. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(5), str. 389–391.

Tafarroj, M. M., Mahian, O., Kasaeian, A., Sakamatapan, K., Dalkilic, A. S. i Wongwises, S. (2017.). Artificial neural network modeling of nanofluid flow in a microchannel heat sink using experimental data. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 86, str. 25–31.

Taylor, W. B. (1981.). The Use of Life Cycle Costing Acquiring Physical Assets. *Long Range Planning*, 14(6), str. 32–43.

Tsuneyoshi, R. (2005.). *Guidelines for Marina Berthing Facilities - Layout and Design*.

U.S. Department of Transportation (Federal Highway Administration - Office of Asset Management) (2002.). *Life-cycle cost analysis primer*. Washington: Office of Asset Management (HIAM).

Utama, W. P., Chan, A. P. C., Zahoor, H., Gao, R. i Jumas, D. Y. (2019.). Making decision toward overseas construction projects: An application based on adaptive neuro. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(2), str. 285–302.

Vapnik, V. (2010.). *The Nature Of Statistical Learning*. 2nd ed. New York: Springer.

Vlada Republike Hrvatske (2008.). *Odluka o objavljivanju pravila o utvrđivanju referentne i*

diskontne stope.

Vlada Republike Hrvatske (2016.). *Zakon o javnoj nabavi*, NN 120/16.

Vlada Republike Hrvatske (2019.). *Pomorski zakonik*, NN 181/04, 76/07, 146/08, 61/11, 56/13, 26/15, 17/19.

van Vleck, Gordon K., Deukmejian, George, Ivers, W. H. (1984.). *Layout and Design Guidelines for Small Craft Berthing Facilities*. Sacramento: Department of Boating and Waterways.

Vorster, M. C., Bafna, T. i Weyers, R. E. (1991.). Model for determining the optimum rehabilitation cycle for concrete bridge decks. *Bridge and Hydrology research, Transportation Research Record*, 1319(1), str. 62–71.

Wan-Hamdan, W. S. Z., Hamid, M. Y. i Mohd-Radzuan, N. A. (2011.). Contribution of Facilities Management Processes in Supporting Malaysia National Higher Education Strategic Plan. *Procedia Engineering*, 20, str. 180–187.

Wang, L., Zhou, X., Zhu, X., Dong, Z. i Guo, W. (2016.). Estimation of biomass in wheat using random forest regression algorithm and remote sensing data. *Crop Journal*, 4(3), str. 212–219.

Wang, N., Horner, R. M. W. i El-Haram, M. A. (2004.). Fuzzy logic approach to a generic elemental whole life costing model. u Khosrowshahi, F. (ur.) *20th Annual ARCOM Conference*. Edinburgh: Association of Researchers in Construction Management, str. 383–391.

Wauters, M. i Vanhoucke, M. (2014.). Support Vector Machine Regression for project control forecasting. *Automation in Construction*, 47, str. 92–106.

Wierda, L. S. (1988.). Product Cost-Estimation by the Designer. *Engineering costs and Production Economics*, 13(3), str. 189–198.

Williams, A. N., Lee, H. S. i Huang, Z. (2000.). Floating pontoon breakwaters. *Ocean Engineering*, 27(3), str. 221–240.

Willmott, C. J. i Matsuura, K. (2005.). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), str. 79–82.

Wilson, R. L. (1986.). Operations and support cost model for new product concept development. *Computers & Industrial Engineering*, 11(1–4), str. 128–131.

Windy App (2015.). Raleigh: Windy Weather World Inc.

Wisuki App (2014.). Madrid: Wisuki Global SL.

Woodward, D. G. (1995.). Use of sensitivity analysis in build-own-operate-transfer project evaluation. *International Journal of Project Management*, 13(4), str. 239–246.

Yang, S. I., Frangopol, D. M., Kawakami, Y. i Neves, L. C. (2006.). The use of lifetime functions in the optimization of interventions on existing bridges considering maintenance and failure costs. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(6), str. 698–705.

Yao, B., Yao, J., Zhang, M. i Yu, L. (2014.). Improved support vector machine regression in multi-step-ahead prediction for rock displacement surrounding a tunnel. *Scientia Iranica*, 21(4), str. 1309–1316.

Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S. i Al-Katheeri, M. M. (2016.). Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Landslides*, 13(5), str. 839–856.

Zayed, T. M., Chang, L. i Fricker, J. D. (2002.). Life-Cycle Cost Analysis using Deterministic and Stochastic Methods: Conflicting Results. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, str. 63–74.

156 Gudac Hodanić, Ivona, 2020., *Model procjene troškova životnog ciklusa pontona kao podrška sustavu upravljanja marinama*. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.

PRILOG 1

Poštovani!



Unaprijed zahvaljujem na Vašem trudu i strpljenju! Svaki podatak bit će iskorišten u svrhu istraživanja i pisanja doktorskog rada na temu "Model procjene troškova održavanja i uporabe plutajućih gatova i sidrenog sustava na primjeru marina Republike Hrvatske". Po mojoj gruboj procjeni ispunjavanje ankete može trajati tridesetak minuta. Molim Vas da mi poklonite Vaše dragocjeno vrijeme, kako bih rezultatima iz ove ankete zaokružila dugogodišnje istraživanje, i finalizirala svoju doktorsku disertaciju.

Hvala :)

Kontakt

Ime marine *

Tvrtka *

Adresa

Grad *

E-mail

Telefon

1 Tvrtka koja upravlja marinom je:

☐ privatna

☐ državna

☐ osnovana od strane lokalne
samouprave

☐

Ostalo

2 Godina završetka izgradnje marine:

3 Površina morskog dijela obuhvata marine:

4 Ukupna duljina gatova:

5 Broj vezova prema duljini plovila:

6 - 8 m

8 - 10 m

10 - 12 m

12 - 15 m

15 - 18 m

> 18 m

6 Koliko dugo planirate koristiti marinu za obavljanje djelatnosti?

☐

0 - 10 godina

☐

11 - 20 godina

☐

21 - 30 godina

☐

31 - 40 godina

☐

41 - 50 godina

☐

preko 50 godina

☐

nisam upoznat/a s informacijom

7 Planira li se dogradnja marine u sljedećem vremenskom intervalu?

☐

da, u sljedećih 10 godina

☐

da, za 11 - 20 godina

☐

da, za 21 - 30 godina

☐

da, za 31 - 40 godina

☐

da, za 41 - 50 godina

☐

ne planira se

8 Planira li se rekonstrukcija marine u sljedećem vremenskom intervalu?

- | | | |
|--|--|--|
| ☐ da, u sljedećih 10 godina | ☐ da, za 11 - 20 godina | ☐ da, za 21 - 30 godina |
| ☐ da, za 31 - 40 godina | ☐ da, za 41 - 50 godina | ☐ ne planira se |

9* Postoji li financijski plan održavanja marine za predviđeno razdoblje uporabe?

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ☐ da | ☐ ne |
|-----------------------------|-----------------------------|

10 Koje službe su zadužene za izradu financijskog plana održavanja?

11* Postoji li osoba/osobe zadužene za planiranje i praćenje održavanja i troškova održavanja marine?

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ☐ da | ☐ ne |
|-----------------------------|-----------------------------|

12 Molimo Vas da osoba zadužena za održavanje građevine prema vlastitom mišljenju ocijeni važnost planiranja i praćenja troškova održavanja marine:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nije važno										Iznimno važno

13* Postoji li predviđanje o broju plovila za naredno razdoblje od pet (5) godina (od 2019. - 2023. godine)?

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ☐ da | ☐ ne |
|-----------------------------|-----------------------------|

14 Molimo da unesete podatke o predviđenom broju plovila za navedeno razdoblje u tablicu:

2019. godina

2020. godina

2021. godina

2022. godina

2023. godina

15 Tip pontona korišten u marini:

☐

betonski

☐

plastični uzgonski tankovi

☐

plastične cijevi

☐

Ostalo

16 Vrsta nosive konstrukcije pontona:

☐

betonska

☐

čelična

☐

alumijska

☐

ostalo

17 Vrsta hodne površine pontona:

☐

drvena

☐

WPC (drveno-plastični kompozit)

☐

betonska

☐

Ostalo

18 Vrsta fiksiranja pontona:

☐

stupovi

☐

metalni klizači

☐

lanci

☐

elastične gume

☐

metalna sidra

☐

betonska sidra

☐

ostalo

19 Vrsta sidrenja plovila:

☐

lanac

☐

konop

20 Rad u marini odvija se u:

☐

jednoj smjeni

☐

dvije smjene

☐

ostalo

21 Broj zaposlenih radnika u marini (odnosi se na osobe zadužene za rad na održavanju i upravljanju plovilima i pontonima):

22 Podaci o broju radnih sati u marini (odnosi se na gore navedeni broj zaposlenih radnika):

dnevno

tjedno

godišnje

23 Provodi li se dodatna edukacija osobe/osoba zaduženih za rad u marini i njeno održavanje?

☐

da

☐

ne

PODACI O TROŠKOVIMA

Sljedeća pitanja vezana su uz troškove održavanja i uporabe pontonskog sustava marine, a podijeljena su po namjeni troška:

- pitanja 24 - 32 odnose se na podatke o troškovima periodičkih pregleda pontona i sidrenog sustava
- pitanja 33 - 41 odnose se na podatke o troškovima zamjene istrošenih materijala i elemenata pontona i sidrenog sustava
- pitanja 42 - 47 odnose se na podatke o troškovima periodičkih radova i popravaka pontona i sidrenog sustava
- pitanja 48 - 58 odnose se na podatke o pogonskim troškovima pontona i sidrenog sustava (troškovi uporabe)

24 Ispitivanje električne instalacije:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

25 Pregled podvodnih lanaca i konopa te sidrenih blokova:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

26 Ispitivanje sustava za dojavu požara:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

27 Ispitivanje vanjske hidrantske mreže:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

28 Ispitivanje bitvi:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

29 Ispitivanje rasvjete:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

30 Ispitivanje vatrogasnih aparata:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

31 Ispitivanje i održavanje protupožarnih pumpi:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

32 Pregled i ispitivanje zaštite od električnog udara:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

33 Zamjena metalnih dijelova (aneli, bitve):

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

34 Zamjena lanaca i/ili konopa:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

35 Zamjena vatrodojave (centrala, dojavljači):

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

36 Zamjena hodne površine (pokrova pontona):

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

37 Zamjena elektroinstalacija:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

38 Zamjena optičkih instalacija:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

39 Zamjena instalacija vodovoda i kanalizacije:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

40 Zamjena rasvjetnih tijela:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

41 Zamjena pontona:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

42 Popravak deckinga (hodne površine):

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

43 Popravak vatrodojave:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

44 Popravlak optičke instalacije:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

45 Popravak kanalizacije i vodovodne instalacije:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

46 Popravak elektroinstalacija:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

47 Popravci dijelova hidrantske mreže:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

48 Opskrba električnom energijom:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

49 Opskrba pitkom vodom:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

50 Troškovi kanalizacije:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

51 Internetske usluge:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

52 Odvoz komunalnog otpada:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

53 Čišćenje okoliša:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

54 Komunalna naknada:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

55 Troškovi osiguranja:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

56 Porezi, lokalni doprinosi:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

57 Naknada za koncesiju:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

58 Troškovi čuvarske službe i zaštitara:

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

- 157 Gudac Hodanić, Ivona, 2020., *Model procjene troškova životnog ciklusa pontona kao podrška sustavu upravljanja marinama*. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.
-

PRILOG 2

ŠIFRA MARINE: M1

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	556.978	385.873	471.058	741.250	286.521	295.211	575.145	447.629	275.567	240.575	418.691	4.694.498	426.773
TROŠKOVI UPORABE	485.963	616.506	688.026	679.761	784.889	657.619	653.268	825.533	783.797	652.227	695.439	7.523.027	683.912
UKUPNO:	1.042.941	1.002.379	1.159.084	1.421.011	1.071.410	952.829	1.228.413	1.273.162	1.059.363	892.802	1.114.130	12.217.525	1.110.684
KUMULATIVNO:	1.042.941	2.045.320	3.204.404	4.625.416	5.696.825	6.649.654	7.878.067	9.151.229	10.210.593	11.103.395	12.217.525		

ŠIFRA MARINE: M2

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	806.049	1.197.037	1.036.602	5.269.017	1.039.916	646.301	1.050.465	658.548	799.560	519.350	350.265	13.373.109	1.215.737
TROŠKOVI UPORABE	1.121.144	984.421	1.448.124	1.588.582	1.700.358	1.492.392	1.742.992	1.848.872	1.894.158	1.657.190	1.769.798	17.248.031	1.568.003
UKUPNO:	1.927.193	2.181.458	2.484.726	6.857.599	2.740.273	2.138.692	2.793.457	2.507.420	2.693.718	2.176.540	2.120.062	30.621.140	2.783.740
KUMULATIVNO:	1.927.193	4.108.652	6.593.378	13.450.977	16.191.250	18.329.943	21.123.399	23.630.819	26.324.537	28.501.078	30.621.140		

ŠIFRA MARINE: M3

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	162.466	8.845.784	4.293.408	174.423	420.279	231.768	180.923	162.151	129.510	1.560.871	137.506	16.299.089	1.481.735
TROŠKOVI UPORABE	903.784	1.009.694	910.701	962.011	1.617.186	1.138.204	1.490.251	1.372.920	1.029.735	1.153.578	1.220.550	12.808.615	1.164.420
UKUPNO:	1.066.250	9.855.478	5.204.109	1.136.434	2.037.465	1.369.972	1.671.174	1.535.071	1.159.245	2.714.449	1.358.056	29.107.704	2.646.155
KUMULATIVNO:	1.066.250	10.921.728	16.125.837	17.262.272	19.299.737	20.669.709	22.340.883	23.875.954	25.035.199	27.749.648	29.107.704		

ŠIFRA MARINE: M4

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	134.223	9.633.559	1.313.086	155.225	299.110	148.778	155.596	159.711	164.589	179.270	173.699	12.516.845	1.137.895
TROŠKOVI UPORABE	772.804	813.444	983.341	959.642	1.002.207	787.104	979.388	1.011.983	873.714	1.038.616	1.115.412	10.337.653	939.787
UKUPNO:	907.027	10.447.003	2.296.427	1.114.866	1.301.317	935.882	1.134.984	1.171.694	1.038.303	1.217.885	1.289.110	22.854.499	2.077.682
KUMULATIVNO:	907.027	11.354.030	13.650.457	14.765.324	16.066.641	17.002.523	18.137.507	19.309.200	20.347.503	21.565.388	22.854.499		

ŠIFRA MARINE: M5

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	417.687	368.096	336.617	1.703.945	1.436.221	583.468	427.529	11.187.433	306.326	339.796	326.443	17.433.559	1.584.869
TROŠKOVI UPORABE	2.279.203	2.326.855	2.482.812	2.660.164	3.139.003	2.814.399	2.788.071	2.657.936	1.660.885	1.972.945	2.121.740	26.904.013	2.445.819
UKUPNO:	2.696.890	2.694.951	2.819.429	4.364.109	4.575.224	3.397.867	3.215.600	13.845.369	1.967.211	2.312.741	2.448.183	44.337.572	4.030.688
KUMULATIVNO:	2.696.890	5.391.842	8.211.270	12.575.379	17.150.603	20.548.469	23.764.069	37.609.437	39.576.648	41.889.389	44.337.572		

ŠIFRA MARINE: M6

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	149.769	127.448	904.798	4.522.382	130.461	197.733	196.691	186.527	166.417	162.933	166.197	6.911.357	628.305
TROŠKOVI UPORABE	878.554	908.090	890.738	1.036.887	1.166.605	1.013.262	1.214.023	1.198.621	890.956	949.692	1.068.908	11.216.336	1.019.667
UKUPNO:	1.028.322	1.035.538	1.795.536	5.559.269	1.297.067	1.210.996	1.410.714	1.385.148	1.057.372	1.112.625	1.235.105	18.127.693	1.647.972
KUMULATIVNO:	1.028.322	2.063.861	3.859.397	9.418.666	10.715.733	11.926.729	13.337.443	14.722.591	15.779.963	16.892.588	18.127.693		

ŠIFRA MARINE: M7

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMIJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	103.159	79.053	99.474	95.169	81.624	92.346	100.053	96.004	75.807	85.609	81.567	989.866	89.988
TROŠKOVI UPORABE	545.937	496.797	522.157	539.408	570.974	459.548	765.476	774.430	577.713	666.794	695.067	6.614.301	601.300
UKUPNO:	649.096	575.850	621.630	634.577	652.598	551.895	865.529	870.434	653.520	752.404	776.634	7.604.167	691.288
KUMULATIVNO:	649.096	1.224.946	1.846.576	2.481.153	3.133.751	3.685.646	4.551.175	5.421.609	6.075.129	6.827.533	7.604.167		

ŠIFRA MARINE: M8

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMIJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	120.117	99.636	135.370	167.535	345.841	275.954	139.013	138.570	124.080	127.081	126.797	1.799.994	163.636
TROŠKOVI UPORABE	626.043	588.029	585.119	627.820	715.210	1.148.965	1.166.475	1.039.103	821.550	901.430	989.653	9.209.397	837.218
UKUPNO:	746.160	687.665	720.489	795.354	1.061.051	1.424.919	1.305.488	1.177.673	945.630	1.028.511	1.116.450	11.009.391	1.000.854
KUMULATIVNO:	746.160	1.433.825	2.154.314	2.949.668	4.010.719	5.435.638	6.741.126	7.918.799	8.864.430	9.892.941	11.009.391		

ŠIFRA MARINE: M9

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMIJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	187.826	151.108	9.127.204	179.641	182.509	1.115.566	201.094	196.850	182.885	193.259	189.952	11.907.893	1.082.536
TROŠKOVI UPORABE	1.043.201	1.002.802	1.060.064	1.103.239	1.188.244	1.090.101	1.710.511	1.678.704	1.397.614	1.538.495	1.651.624	14.464.600	1.314.964
UKUPNO:	1.231.027	1.153.910	10.187.268	1.282.880	1.370.753	2.205.666	1.911.605	1.875.553	1.580.499	1.731.754	1.841.576	26.372.493	2.397.499
KUMULATIVNO:	1.231.027	2.384.937	12.572.205	13.855.085	15.225.838	17.431.505	19.343.110	21.218.664	22.799.163	24.530.917	26.372.493		

ŠIFRA MARINE: M10

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMIJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	50.082	728.497	5.220.362	47.468	54.541	62.567	65.157	62.773	54.771	48.626	52.127	6.446.973	586.088
TROŠKOVI UPORABE	305.155	318.688	321.867	337.936	374.727	330.159	674.637	665.358	551.440	553.480	606.320	5.039.769	458.161
UKUPNO:	355.238	1.047.185	5.542.229	385.404	429.268	392.726	739.795	728.131	606.211	602.106	658.447	11.486.742	1.044.249
KUMULATIVNO:	355.238	1.402.423	6.944.653	7.330.057	7.759.325	8.152.051	8.891.846	9.619.977	10.226.188	10.828.294	11.486.742		

ŠIFRA MARINE: M11

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMIJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	2.819.121	55.593	58.352	66.877	1.436.507	78.326	73.481	75.204	63.523	62.481	63.588	4.853.052	441.187
TROŠKOVI UPORABE	389.413	414.623	447.046	464.730	467.748	466.530	627.917	638.403	503.486	527.544	574.751	5.522.191	502.017
UKUPNO:	3.208.534	470.216	505.398	531.607	1.904.255	544.856	701.398	713.607	567.009	590.025	638.338	10.375.243	943.204
KUMULATIVNO:	3.208.534	3.678.750	4.184.148	4.715.755	6.620.010	7.164.866	7.866.264	8.579.871	9.146.880	9.736.905	10.375.243		

ŠIFRA MARINE: M12

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMIJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	106.206	99.066	163.217	654.682	692.122	112.039	106.442	114.885	93.180	101.221	98.198	2.341.259	212.842
TROŠKOVI UPORABE	628.240	667.572	784.326	778.329	885.336	635.402	1.103.474	1.142.244	978.396	1.077.630	1.110.708	9.791.658	890.151
UKUPNO:	734.446	766.638	947.542	1.433.011	1.577.458	747.442	1.209.916	1.257.129	1.071.577	1.178.851	1.208.906	12.132.917	1.102.992
KUMULATIVNO:	734.446	1.501.084	2.448.626	3.881.637	5.459.095	6.206.537	7.416.453	8.673.582	9.745.159	10.924.010	12.132.917		

ŠIFRA MARINE: M13

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 5)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	0	0	0	0	0	0	5.848.809	6.816.965	172.697	334.249	257.451	13.430.171	2.686.034
TROŠKOVI UPORABE	0	0	0	0	0	0	299.161	340.648	1.060.685	2.006.690	1.860.738	5.567.922	1.113.584
UKUPNO:	0	0	0	0	0	0	6.147.970	7.157.613	1.233.381	2.340.940	2.118.189	18.998.093	3.799.619
KUMULATIVNO:	0	0	0	0	0	0	6.147.970	13.305.583	14.538.965	16.879.904	18.998.093		

ŠIFRA MARINE: M14

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	9.274.221	219.818	1.795.868	279.859	268.861	233.279	245.410	231.357	188.941	173.707	182.889	13.094.211	1.190.383
TROŠKOVI UPORABE	1.502.380	1.598.700	1.694.157	1.650.804	1.778.357	1.373.006	1.903.985	1.852.521	1.386.090	1.419.650	1.597.676	17.757.328	1.614.303
UKUPNO:	10.776.601	1.818.519	3.490.025	1.930.663	2.047.218	1.606.285	2.149.395	2.083.878	1.575.031	1.593.358	1.780.566	30.851.539	2.804.685
KUMULATIVNO:	10.776.601	12.595.120	16.085.145	18.015.808	20.063.026	21.669.311	23.818.706	25.902.584	27.477.615	29.070.973	30.851.539		

ŠIFRA MARINE: M15

GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 12)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	194.768	169.177	363.944	181.972
TROŠKOVI UPORABE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.680.330	1.402.352	3.082.682	1.541.341
UKUPNO:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.875.098	1.571.529	3.446.627	1.723.313
KUMULATIVNO:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.875.098	3.446.627		

ŠIFRA MARINE: M16

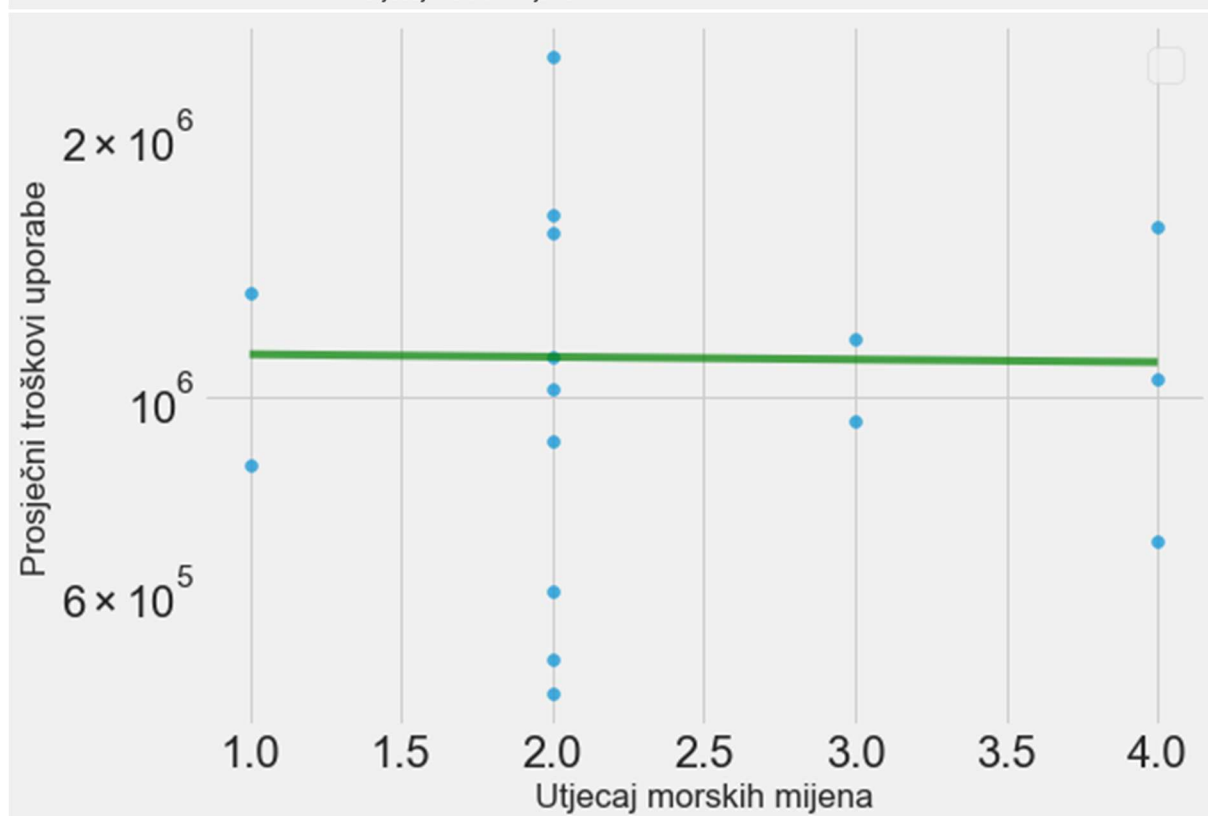
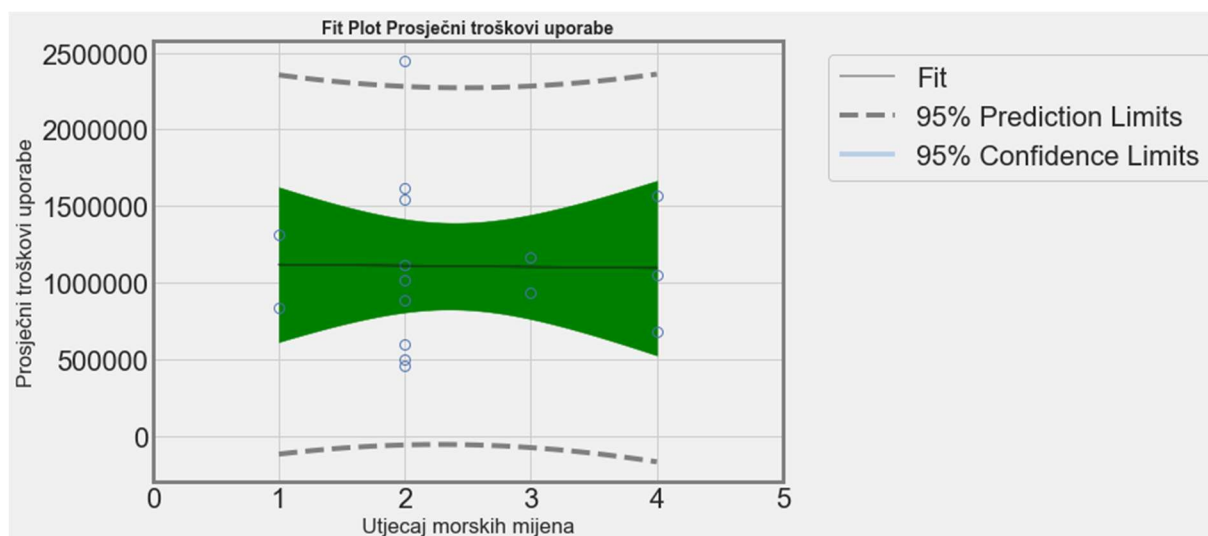
GRUPA TROŠKOVA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	UKUPNO	TROŠKOVI/REF. PERIOD (REF. PERIOD = 11)
TROŠKOVI PERIODIČKIH PREGLEDA, ZAMJENE ISTROŠENIH MATERIJALA I PERIODIČKIH RADOVA I POPRAVAKA	203.555	174.268	275.038	197.352	231.033	195.204	199.373	192.742	296.126	0	9.940.000	11.904.692	1.082.245
TROŠKOVI UPORABE	1.182.829	1.224.828	1.261.019	1.243.605	1.277.693	1.092.799	1.319.308	1.299.963	1.527.953	47.701	39.385	11.517.084	1.047.008
UKUPNO:	1.386.384	1.399.097	1.536.057	1.440.956	1.508.727	1.288.003	1.518.682	1.492.705	1.824.079	47.701	9.979.385	23.421.776	2.129.252
KUMULATIVNO:	1.386.384	2.785.480	4.321.538	5.762.494	7.271.221	8.559.224	10.077.905	11.570.610	13.394.690	13.442.390	23.421.776		

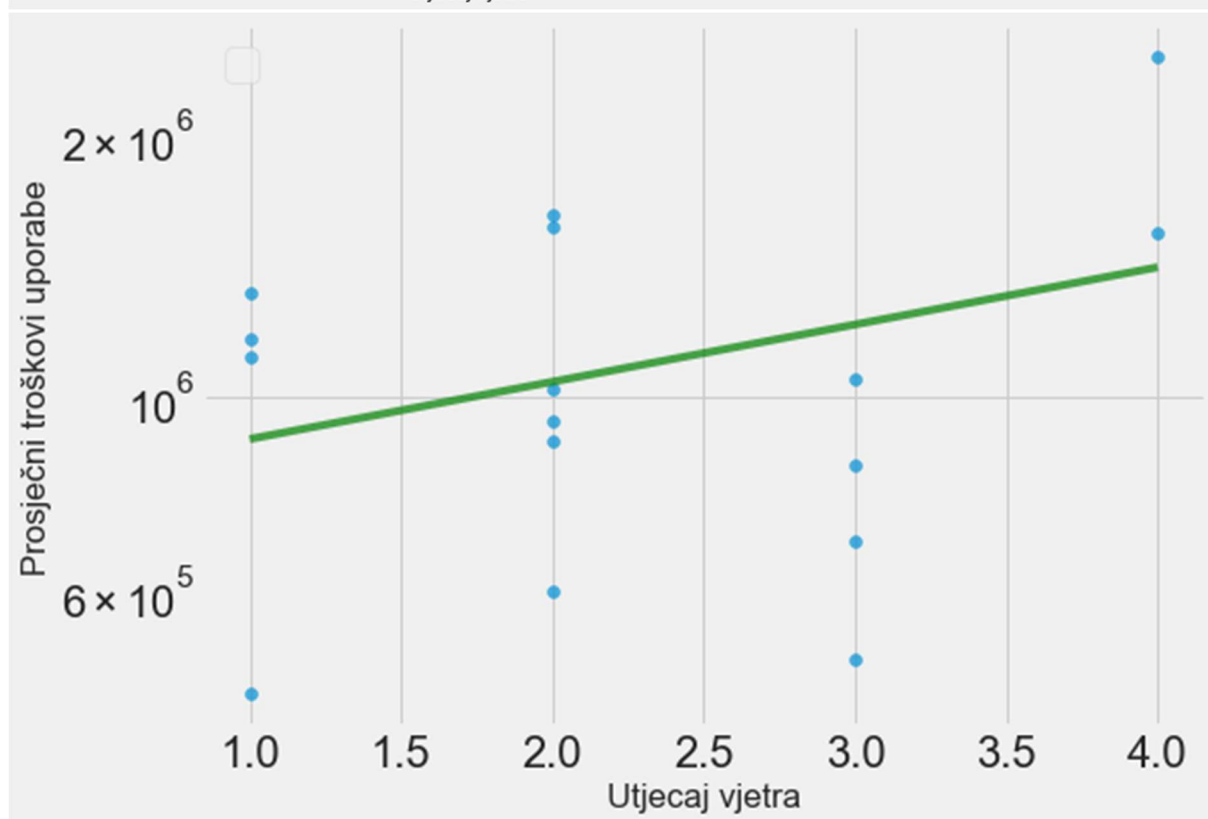
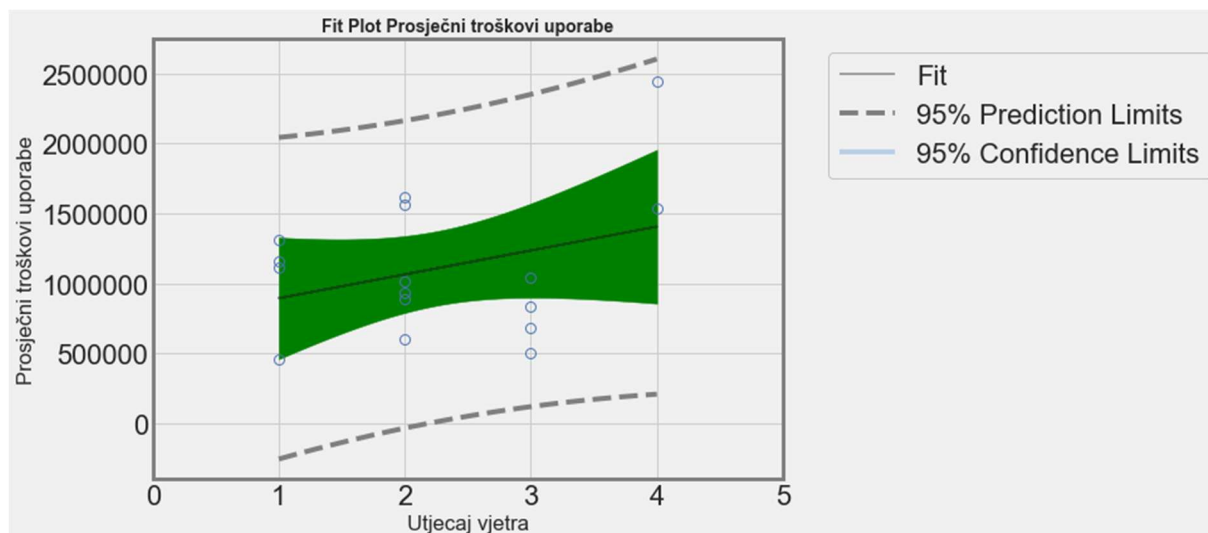
158 Gudac Hodanić, Ivona, 2020., *Model procjene troškova životnog ciklusa pontona kao podrška sustavu upravljanja marinama*. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.

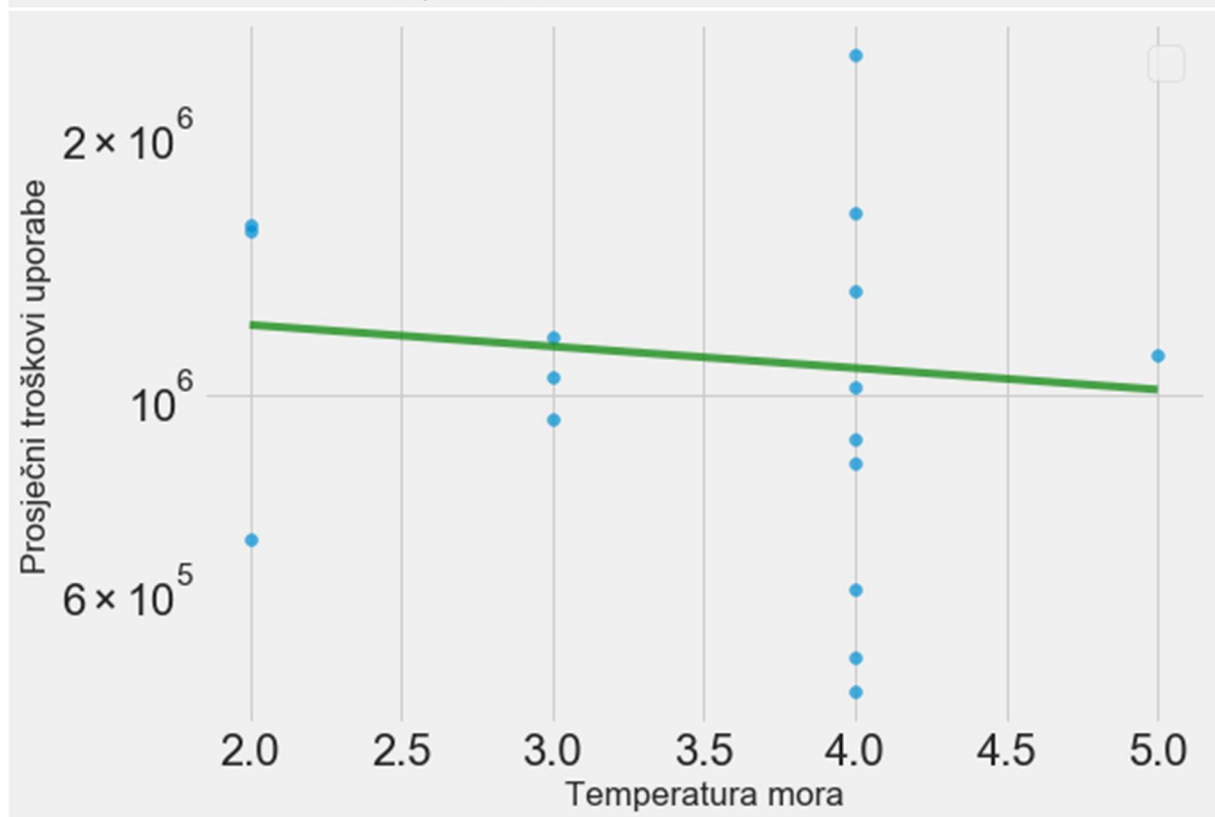
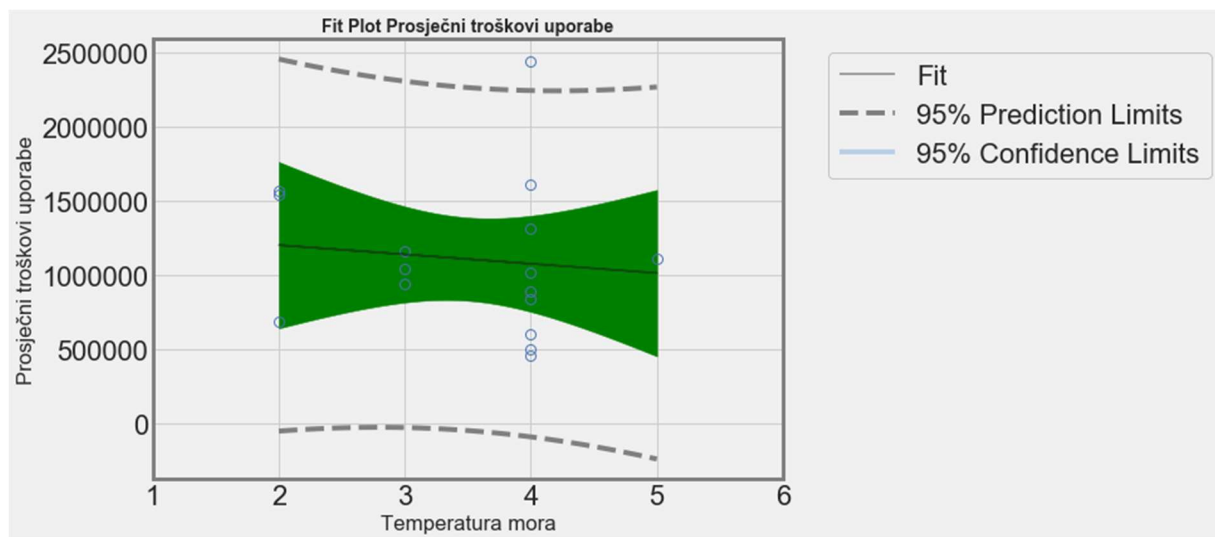
PRILOG 3

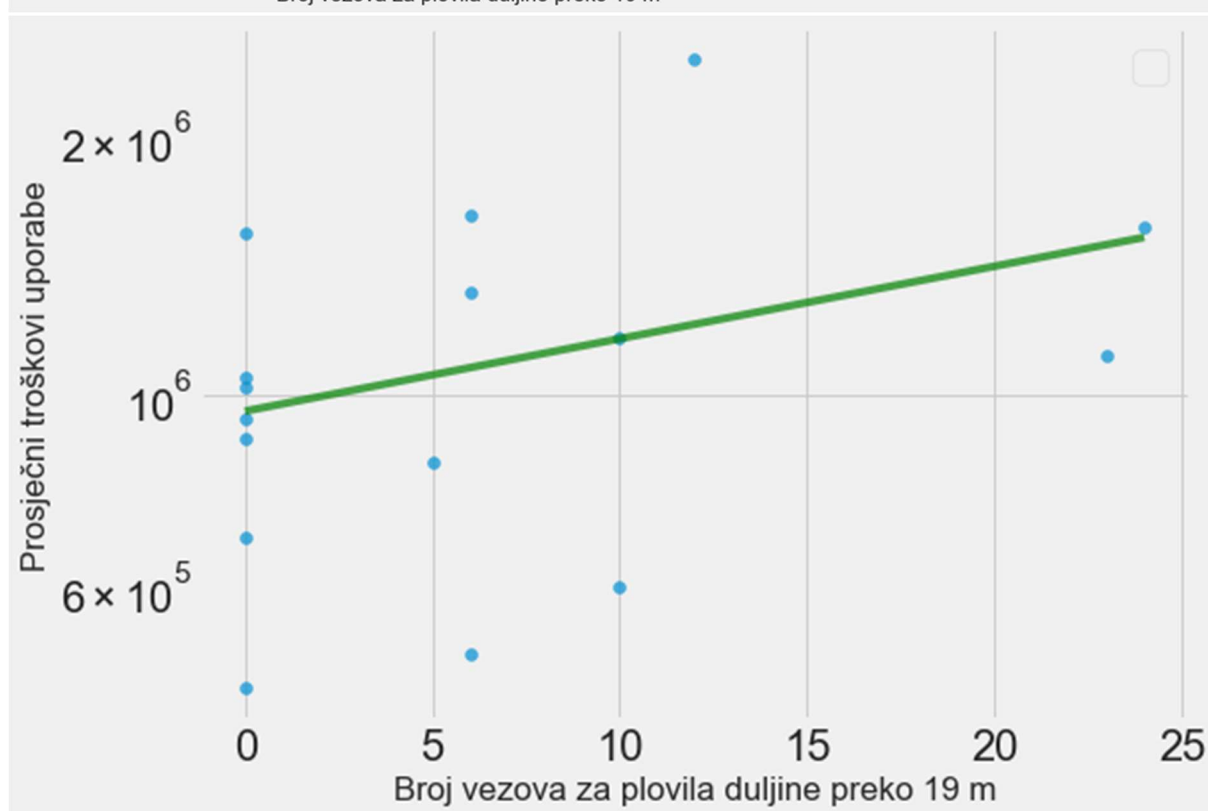
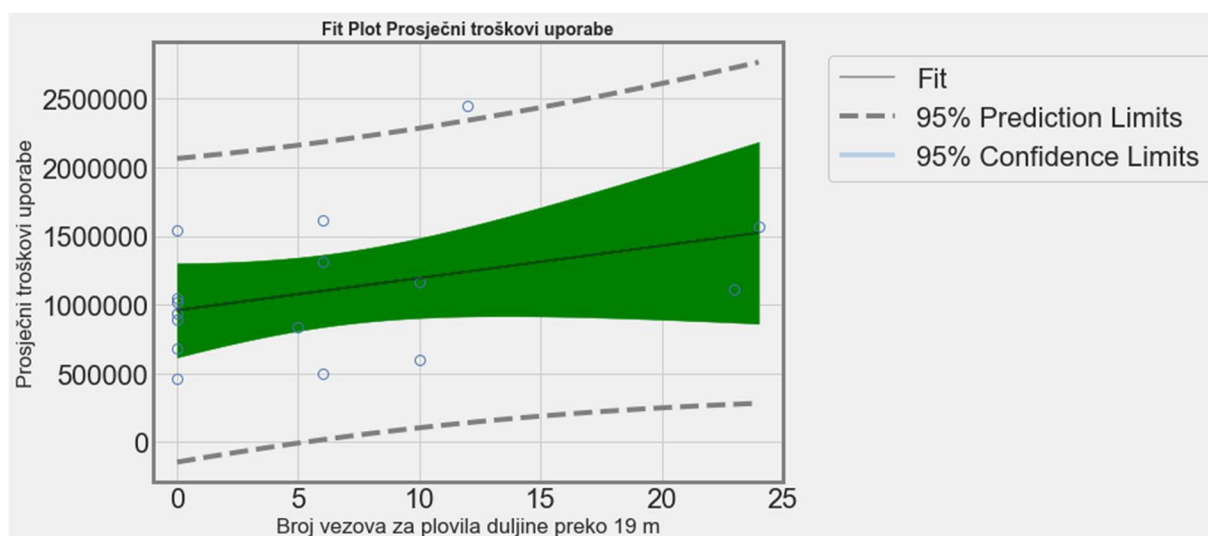
VARIJABLA	COUNT	MEAN	STD	MIN	25%	50%	75%	MAX
Temperatura mora	16,00	3,50	0,89	2,00	3,00	4,00	4,00	5,00
Utjecaj vjetra	16,00	2,25	1,00	1,00	1,75	2,00	3,00	4,00
Utjecaj morskih mijena	16,00	2,38	0,96	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00
Površina morskog obuhvata koncesije	16,00	36.685,00	21.674,39	14.038,60	23.197,00	32.464,00	43.542,25	100.876,40
Broj pontonskih gatova	16,00	4,69	1,92	2,00	3,75	4,50	6,25	8,00
Duljina pontonskih gatova	16,00	429,63	213,15	79,00	279,28	428,50	560,50	930,00
Ukupan broj pontonskih vezova	16,00	189,31	98,44	44,00	120,50	174,00	227,00	427,00
Broj vezova za plovila duljine od 5-8 m	16,00	21,25	26,80	0,00	4,50	10,00	25,50	88,00
Broj vezova za plovila duljine od 8-10 m	16,00	29,44	23,88	2,00	10,25	21,50	42,50	89,00
Broj vezova za plovila duljine od 10-12 m	16,00	43,75	32,75	0,00	19,50	35,50	58,50	105,00
Broj vezova za plovila duljine od 12-15 m	16,00	69,19	62,59	12,00	41,25	57,50	68,00	267,00
Broj vezova za plovila duljine od 15-19 m	16,00	19,31	29,20	0,00	2,25	15,00	16,50	118,00
Broj vezova za plovila duljine veće od 19 m	16,00	6,38	7,88	0,00	0,00	5,50	10,00	24,00
Prosječni broj korisnika	16,00	46.655,19	33.980,62	3.714,00	12.898,75	48.238,00	65.238,25	108.237,00
Broj pregleda u 10 godina	16,00	17,06	12,06	10,00	12,00	13,00	17,00	60,00
Troškovi koncesije	16,00	273.572,54	139.847,70	88.351,69	169.213,30	208.618,98	358.278,09	580.319,18
Prosječni god. disk. troškovi uporabe	16,00	1.108.853,00	508.476,70	458.160,80	798.891,30	1.033.337,00	1.371.558,00	2.445.819,00
Prosječni god. disk. troškovi životnog ciklusa	16,00	2.001.492,00	1.029.847,00	691.287,90	1.088.307,00	1.900.498,00	2.685.788,00	4.030.688,00

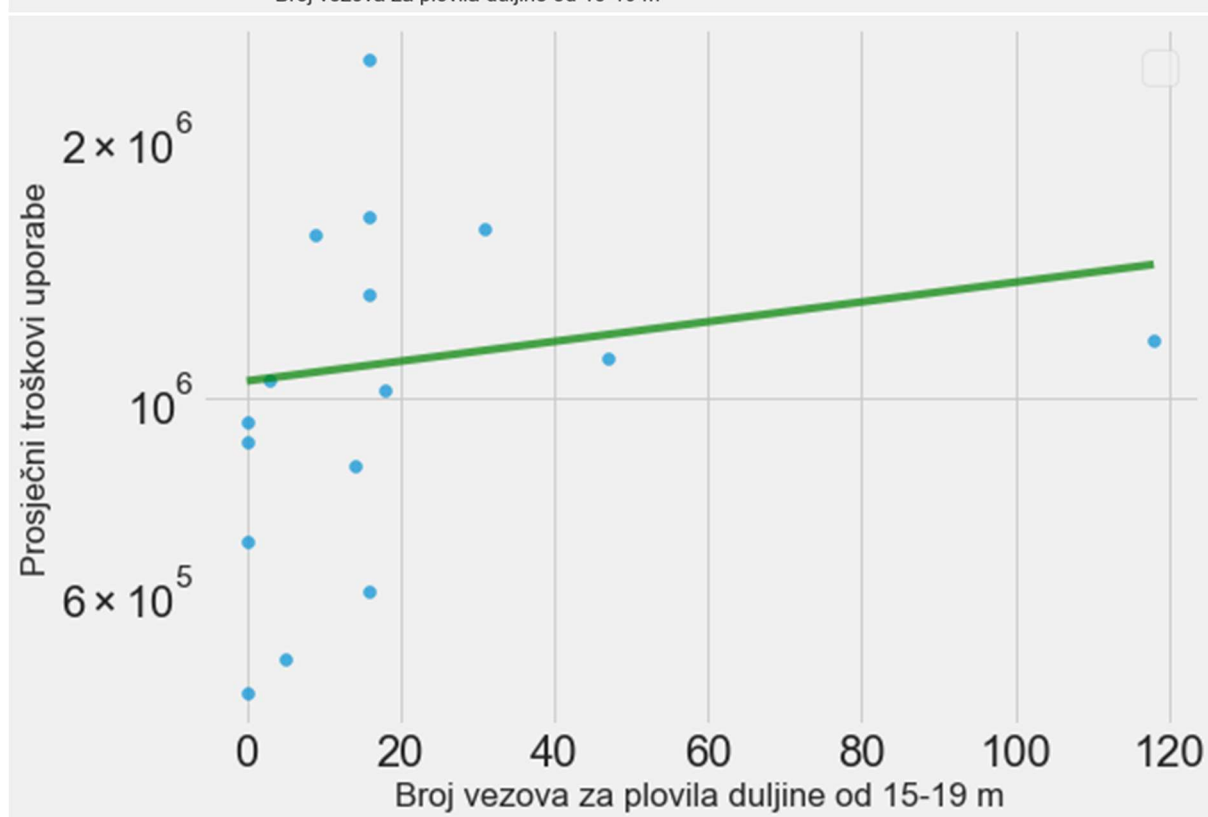
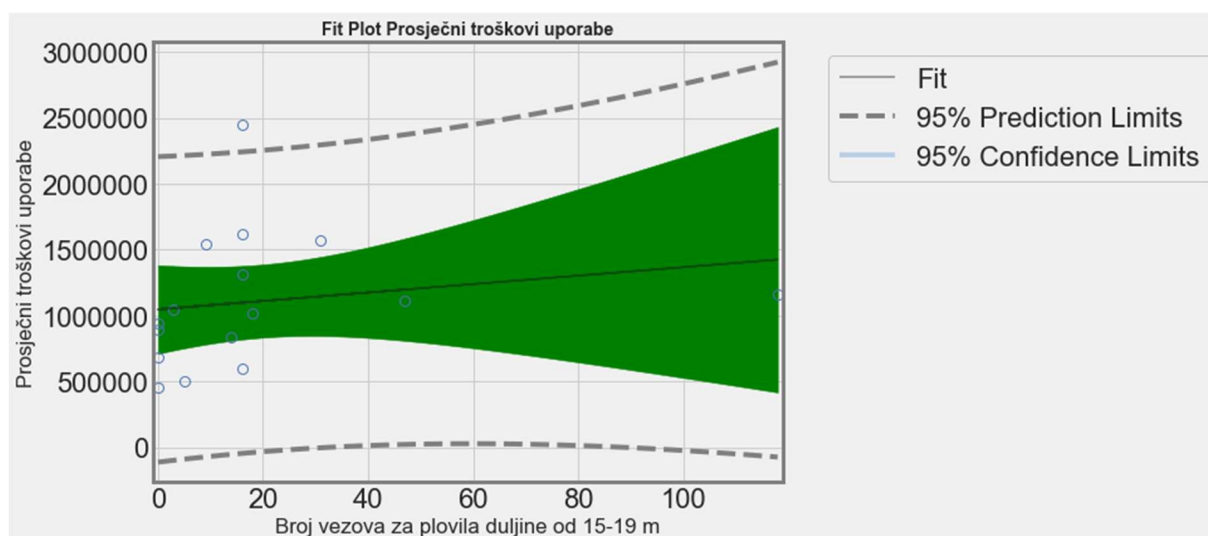
STATISTIČKA PODATAKA O TROŠKOVIMA UPORABE PONTONA I SIDRENOG SUSTAVA MARINE

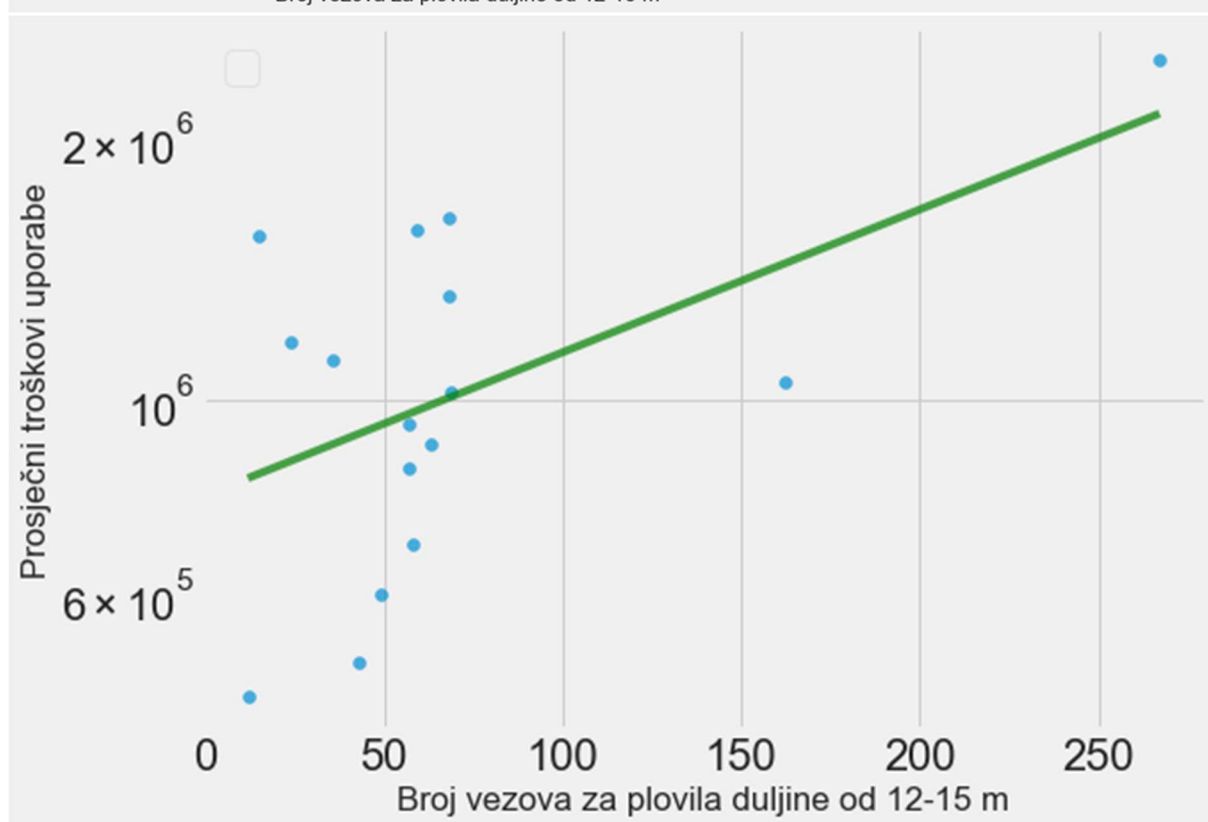
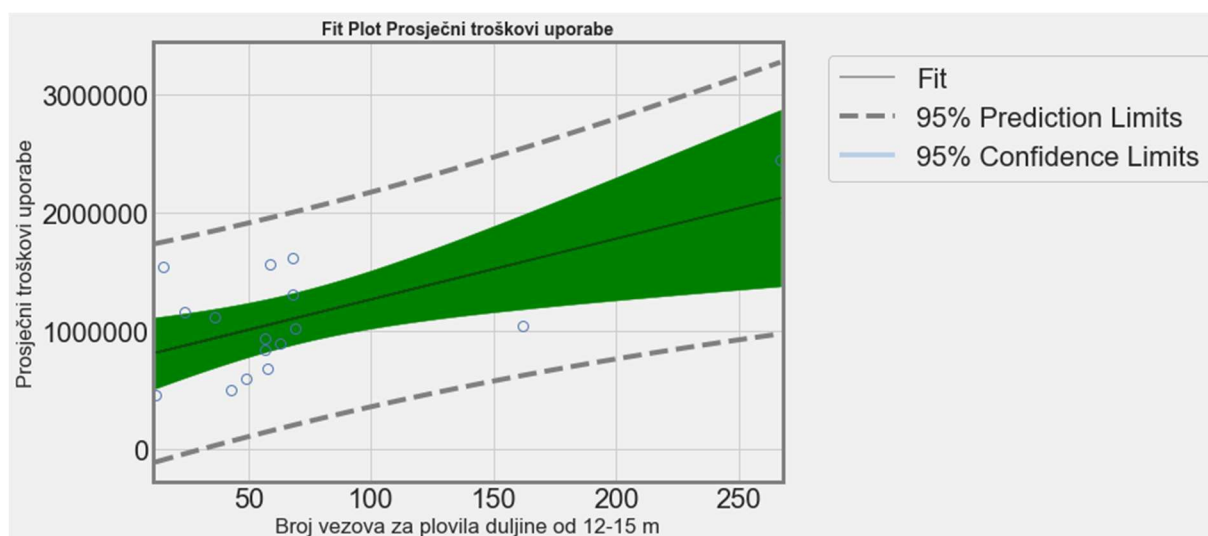


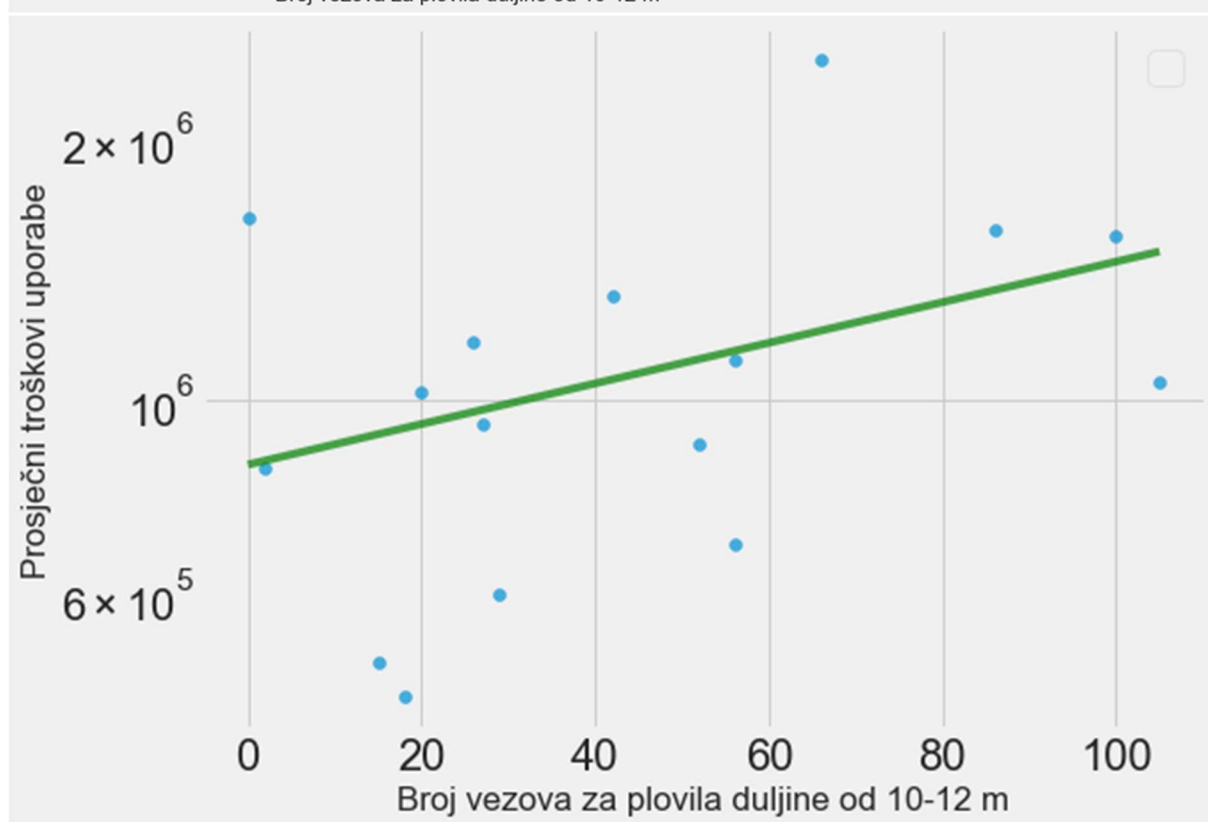
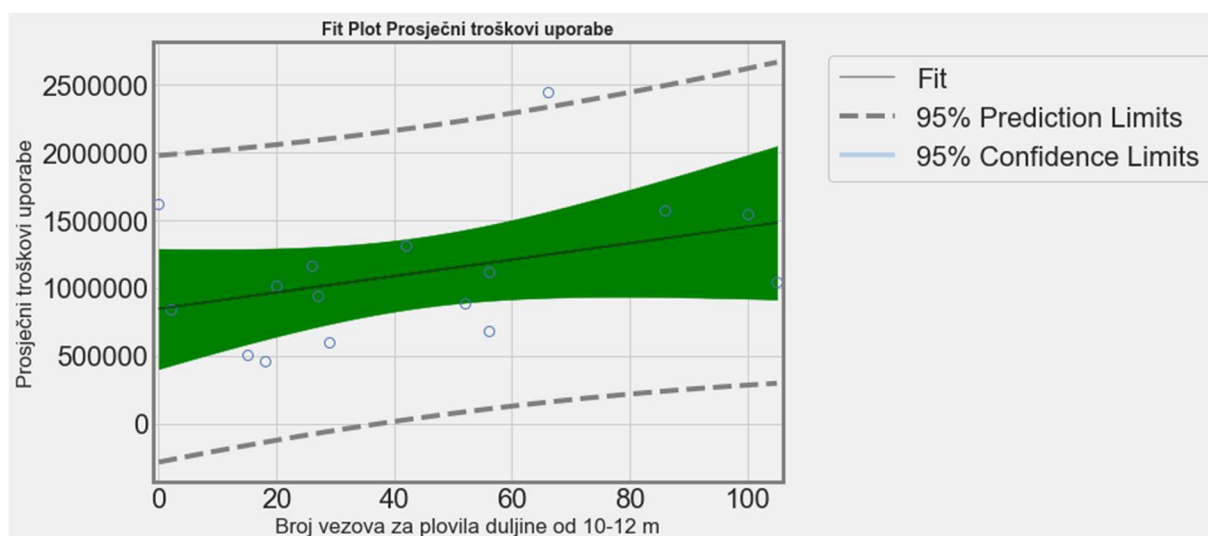


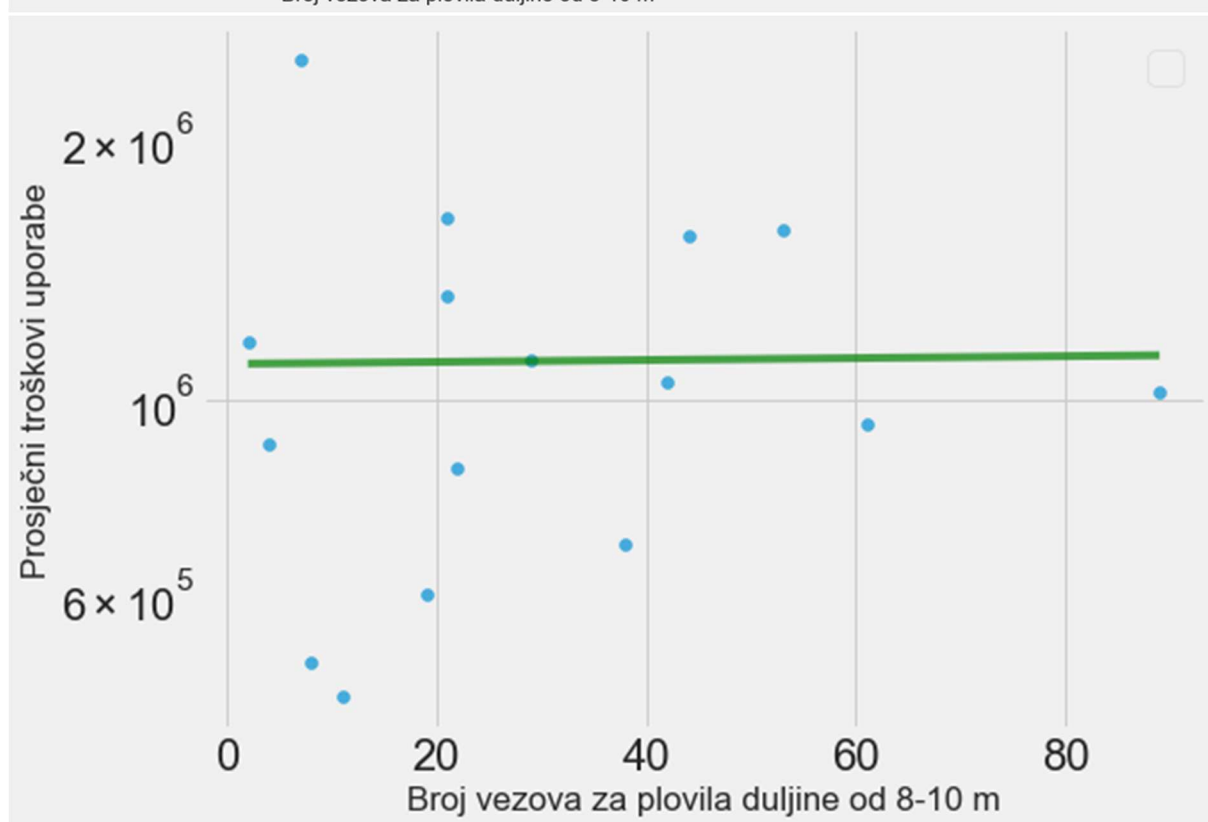
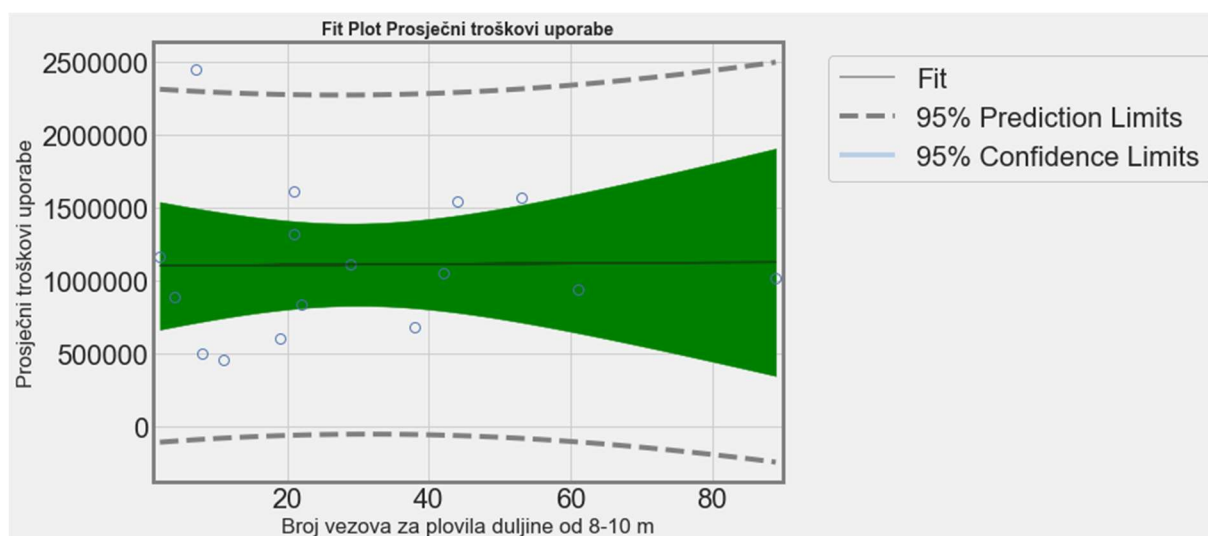


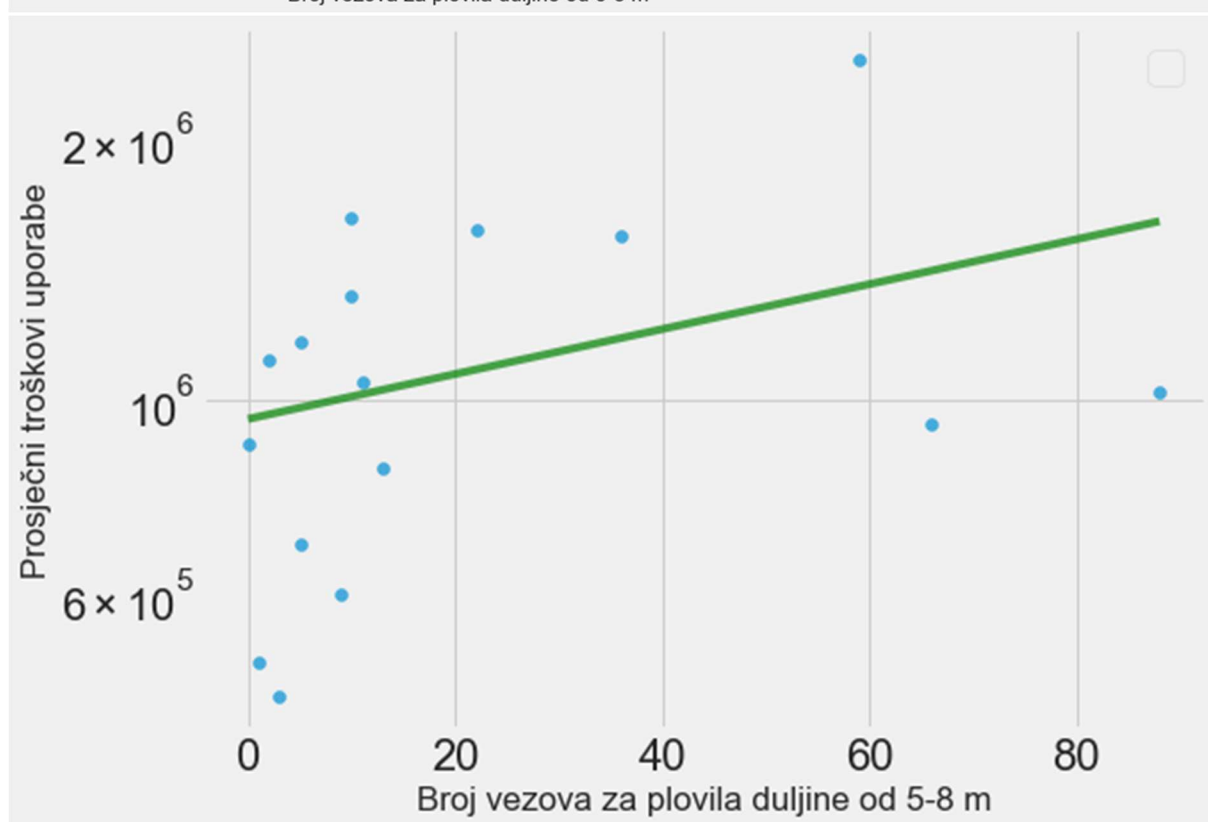
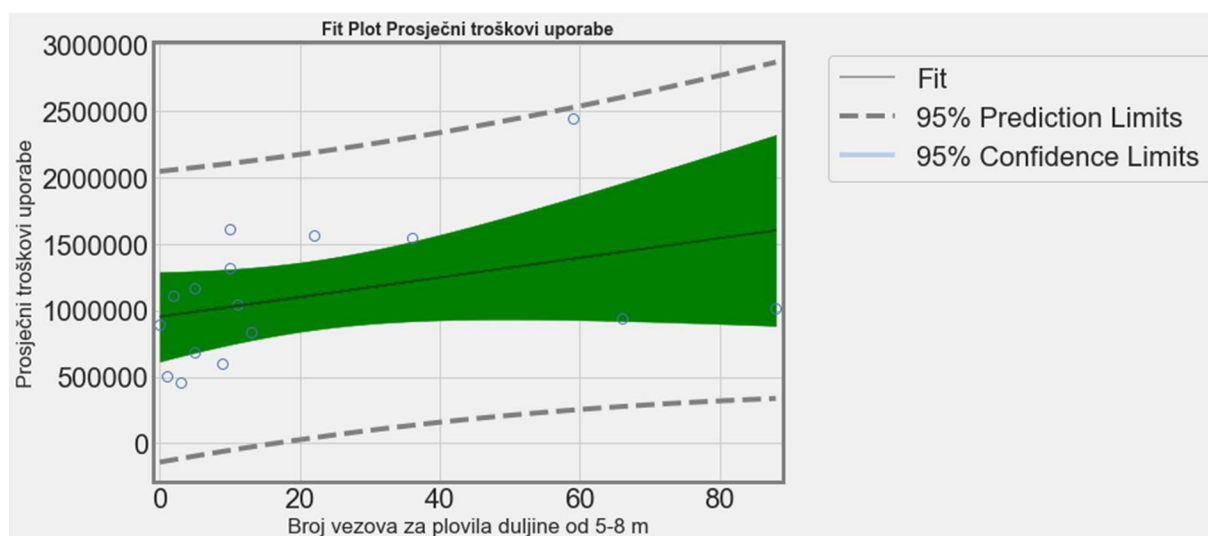


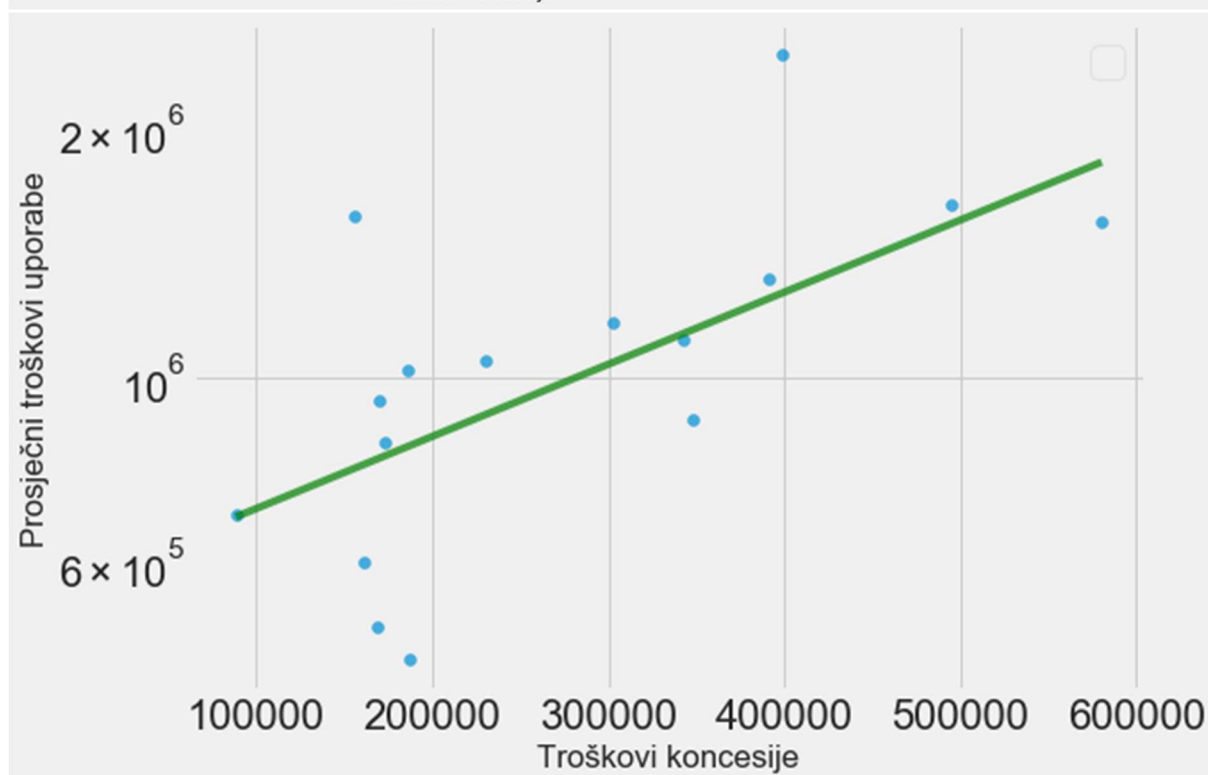
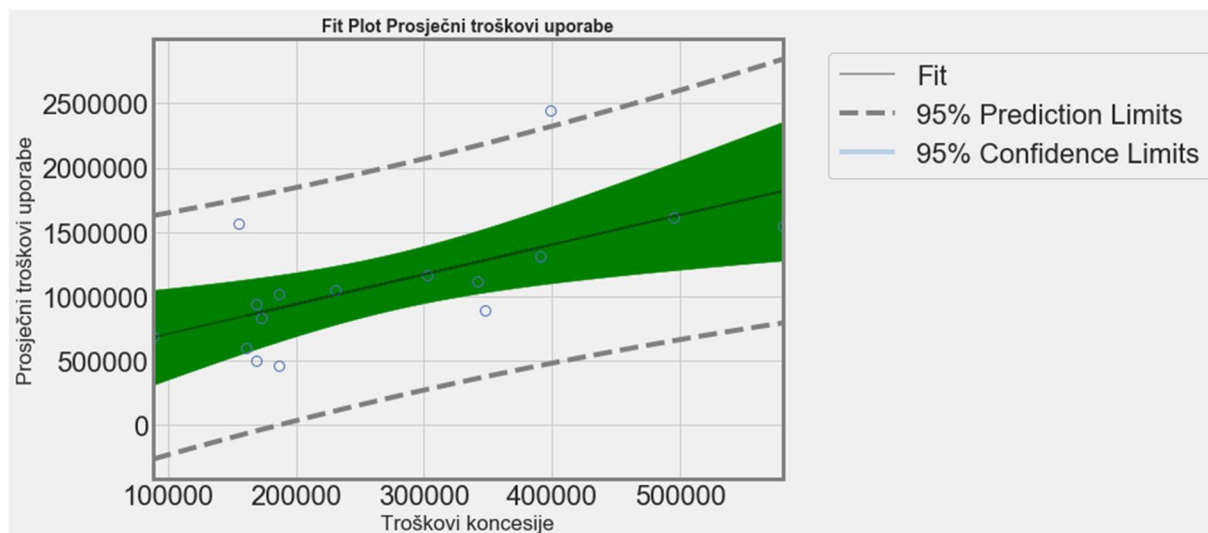


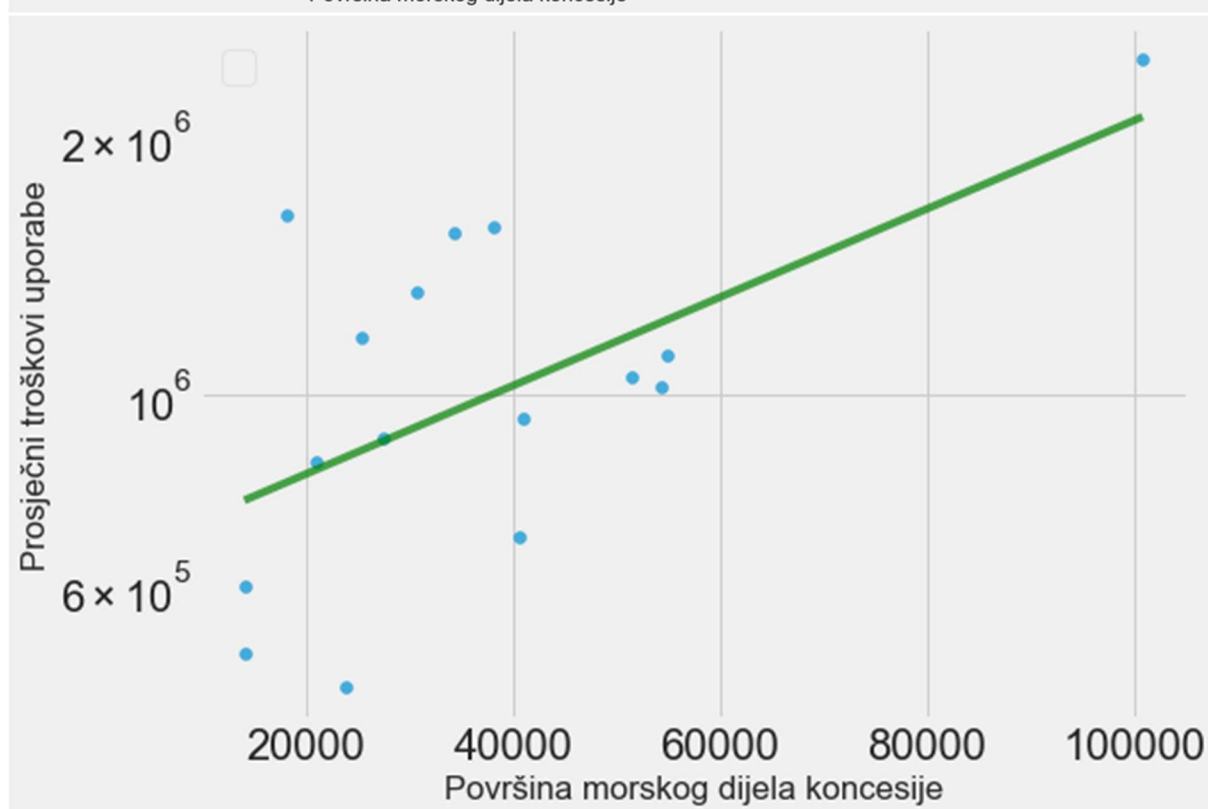
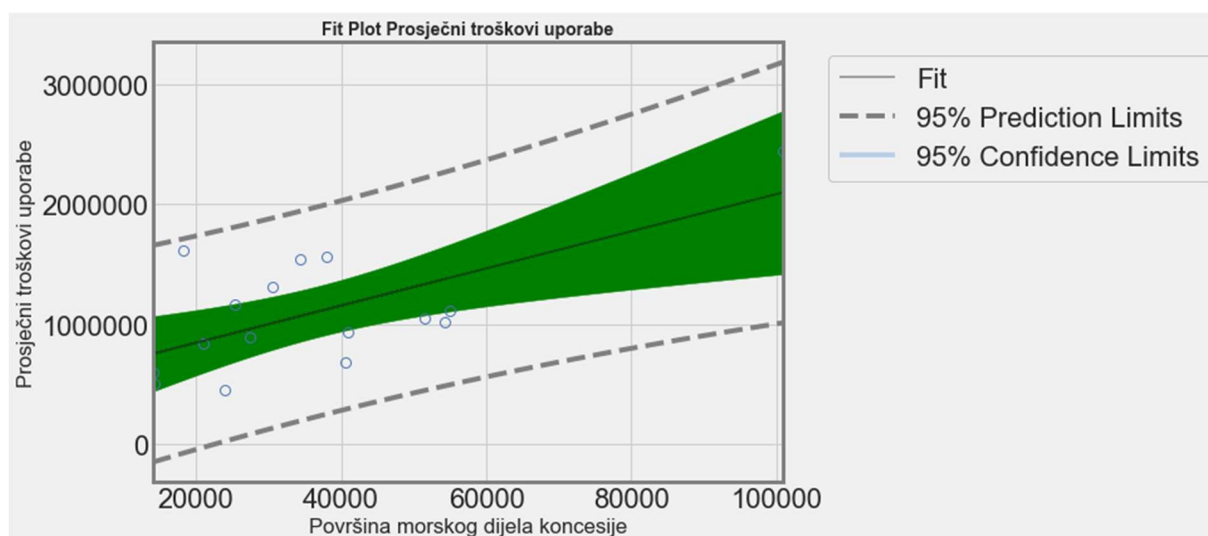


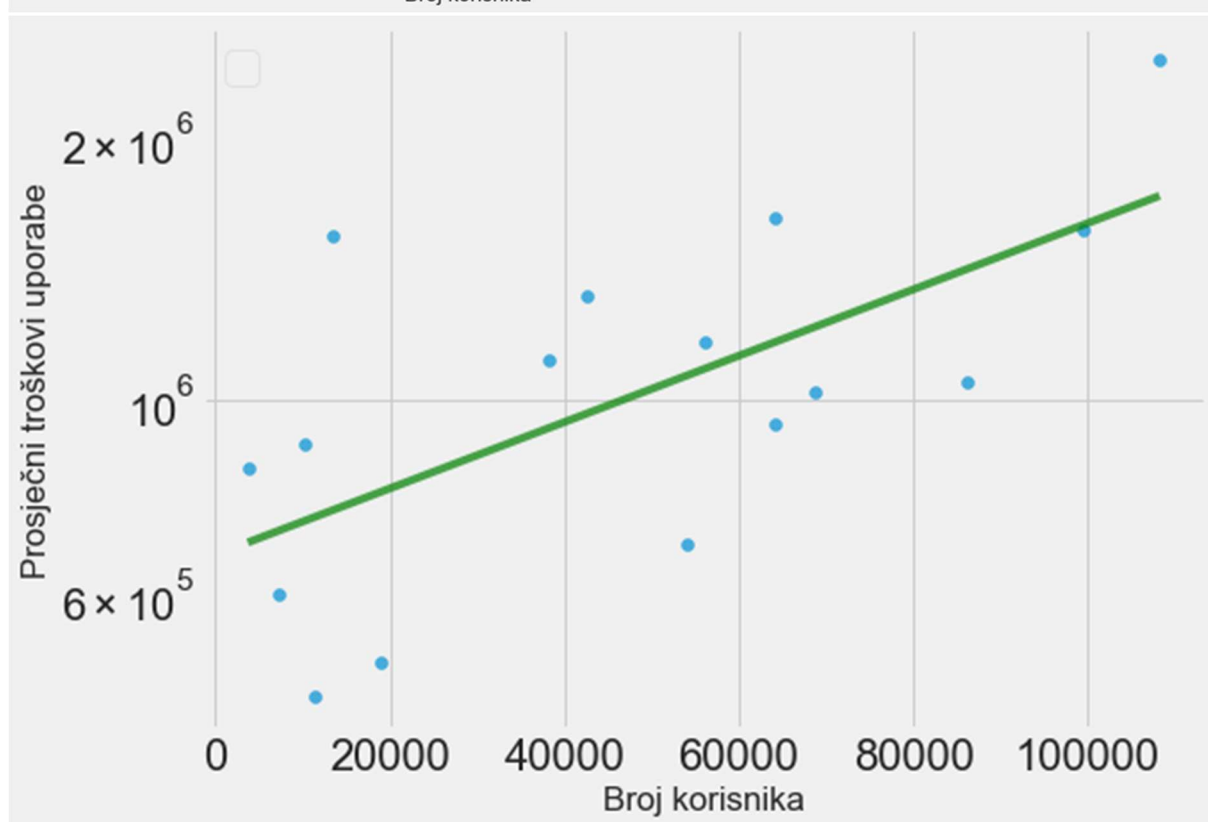
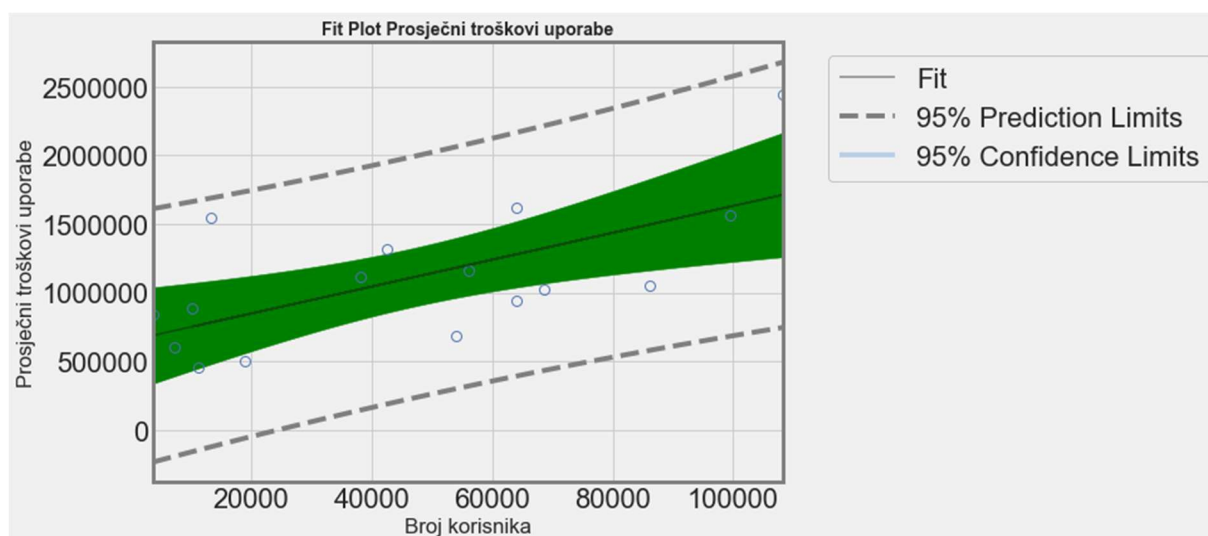


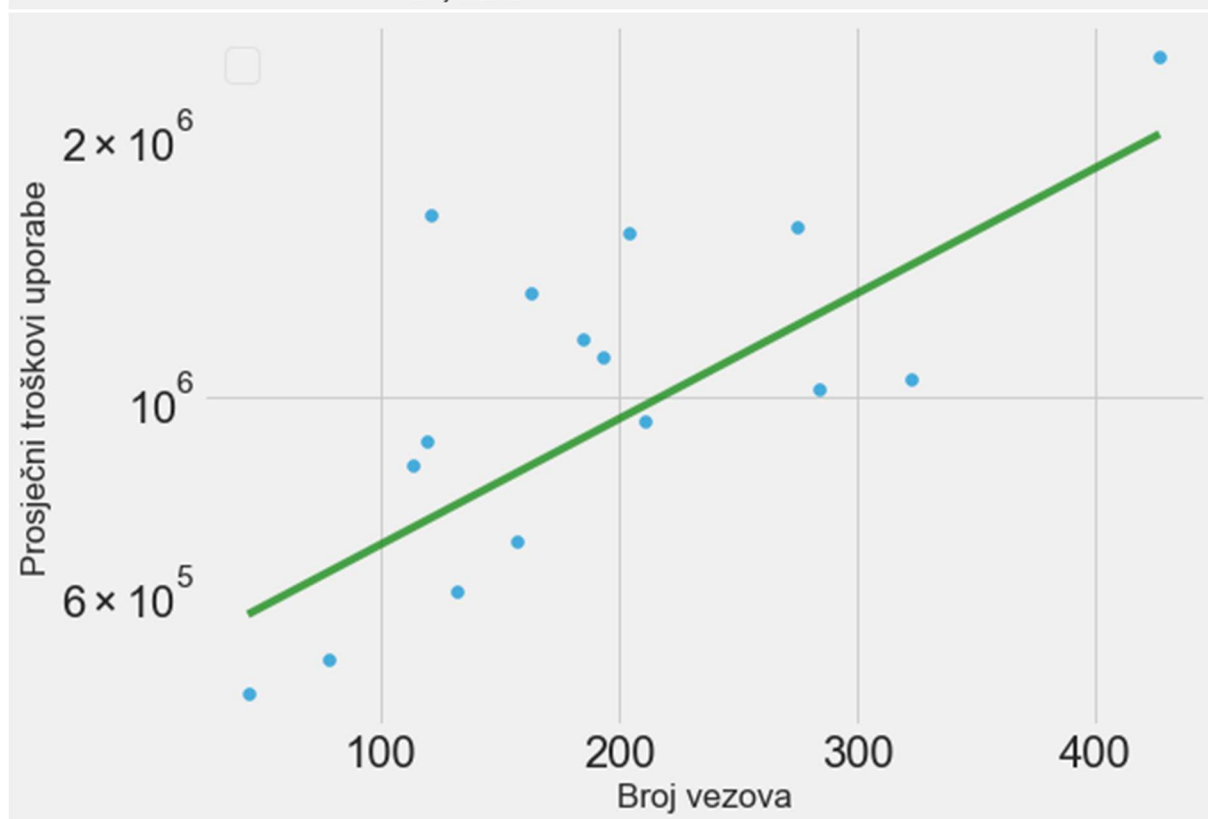
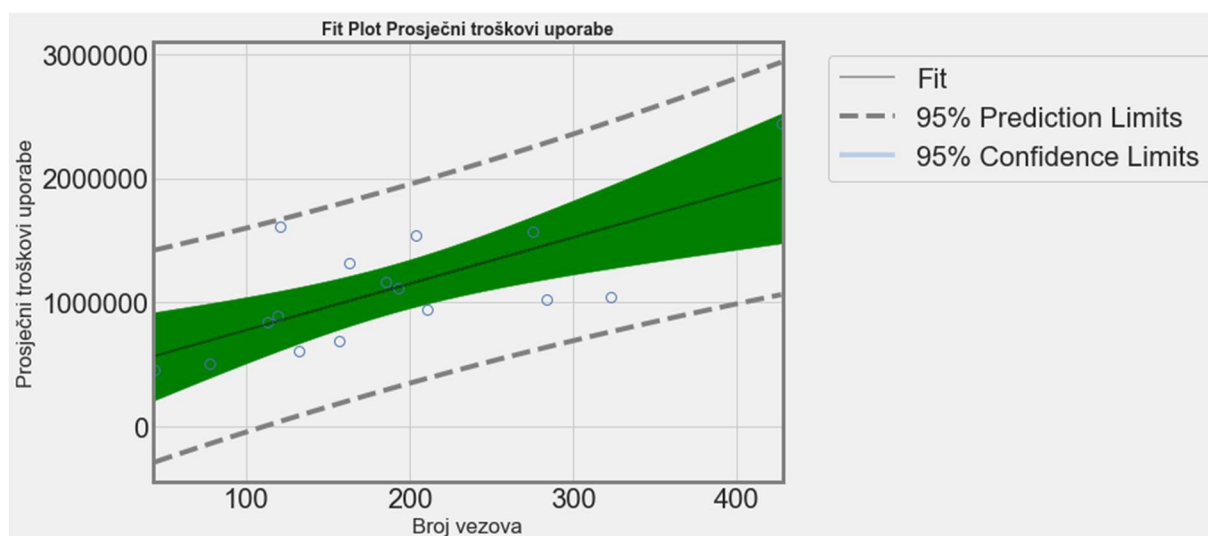


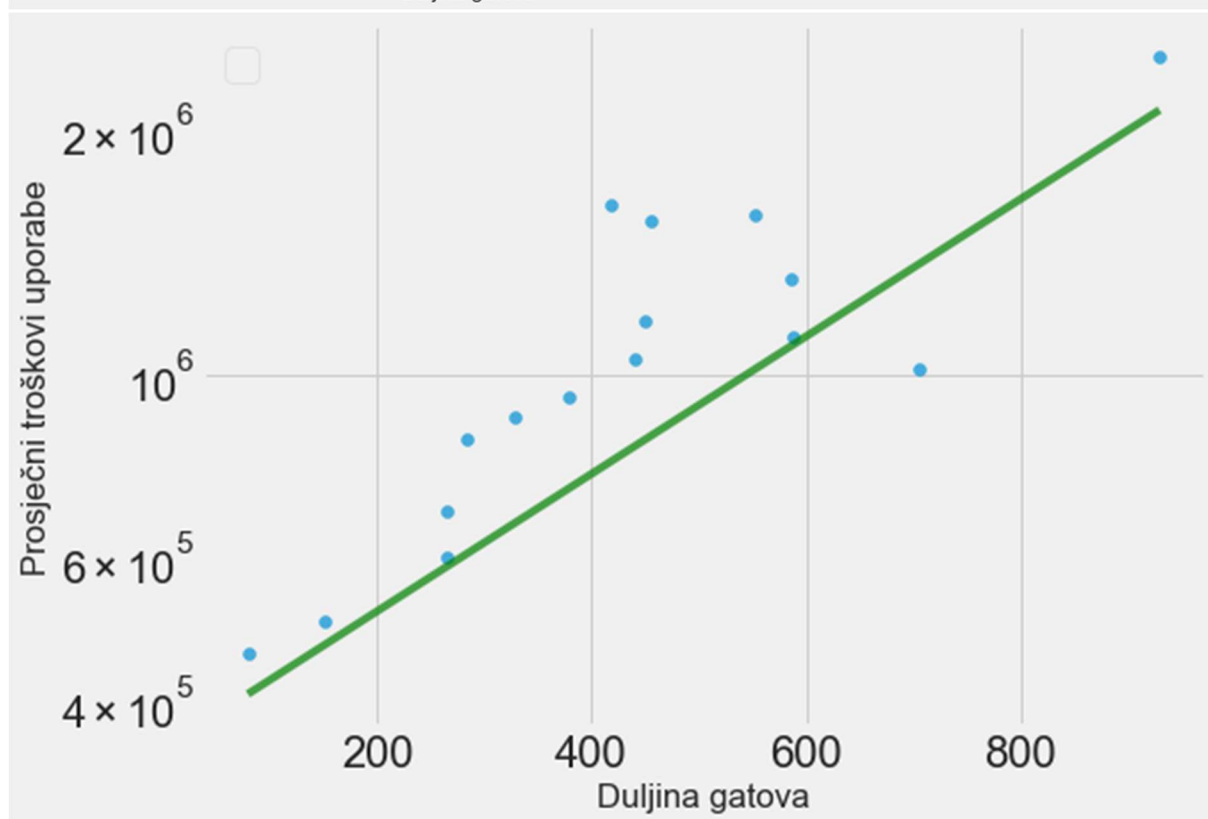
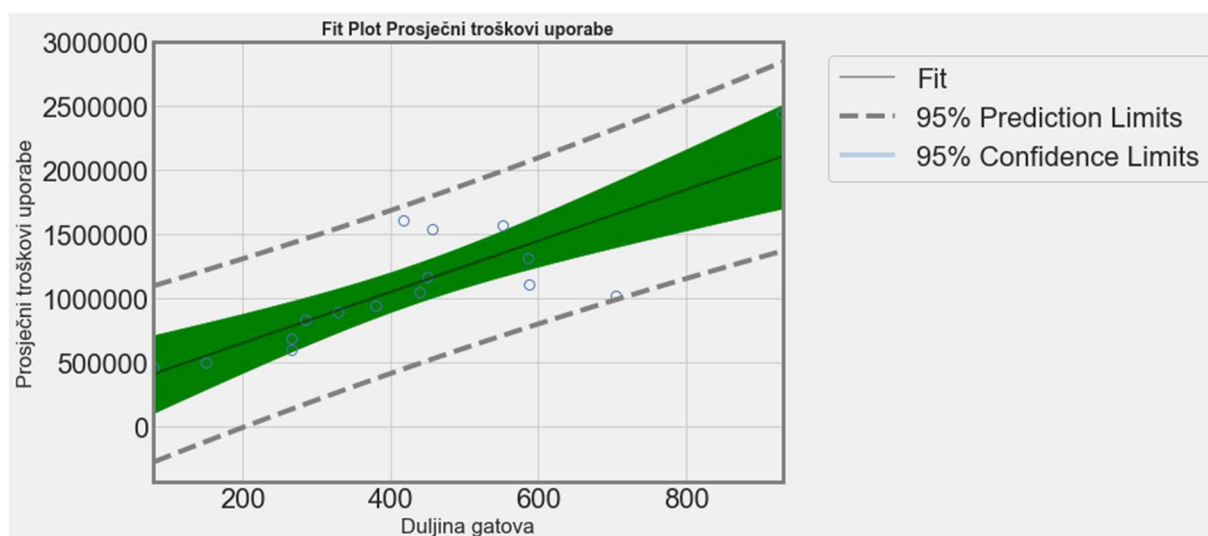


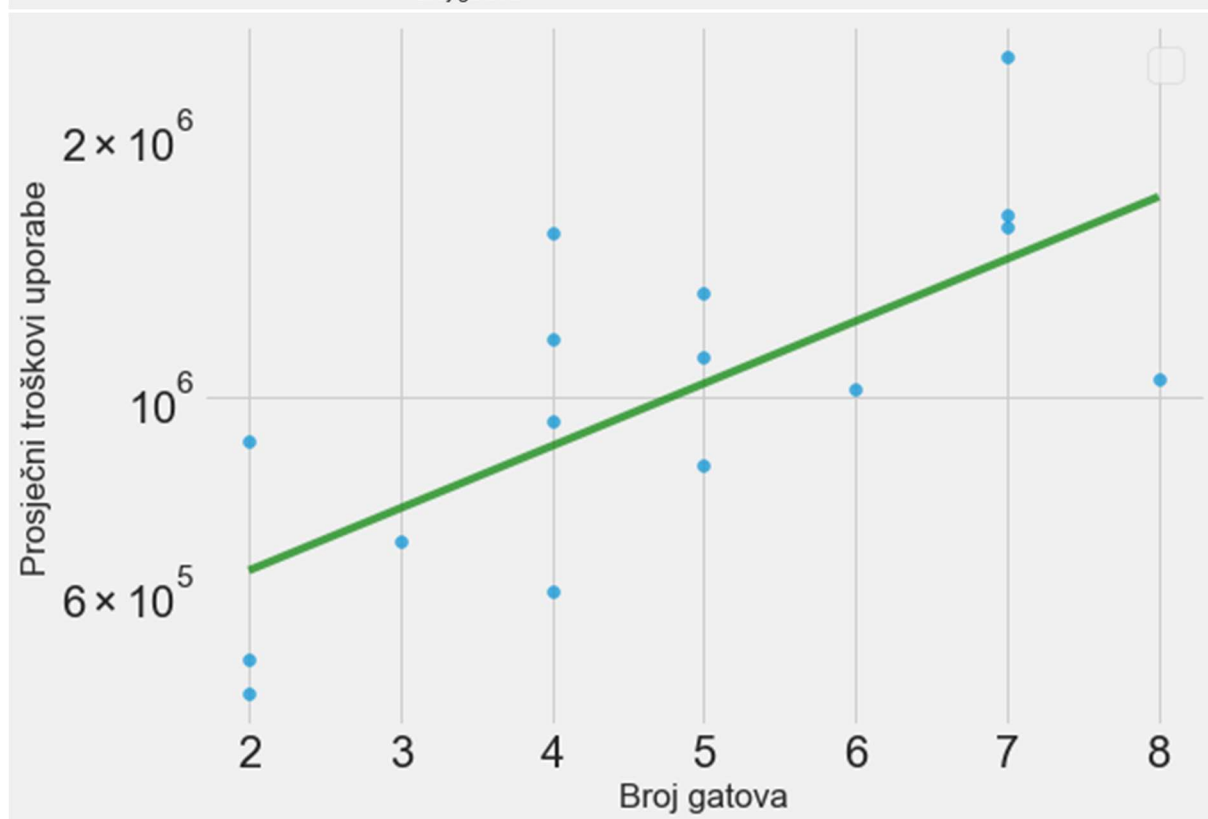
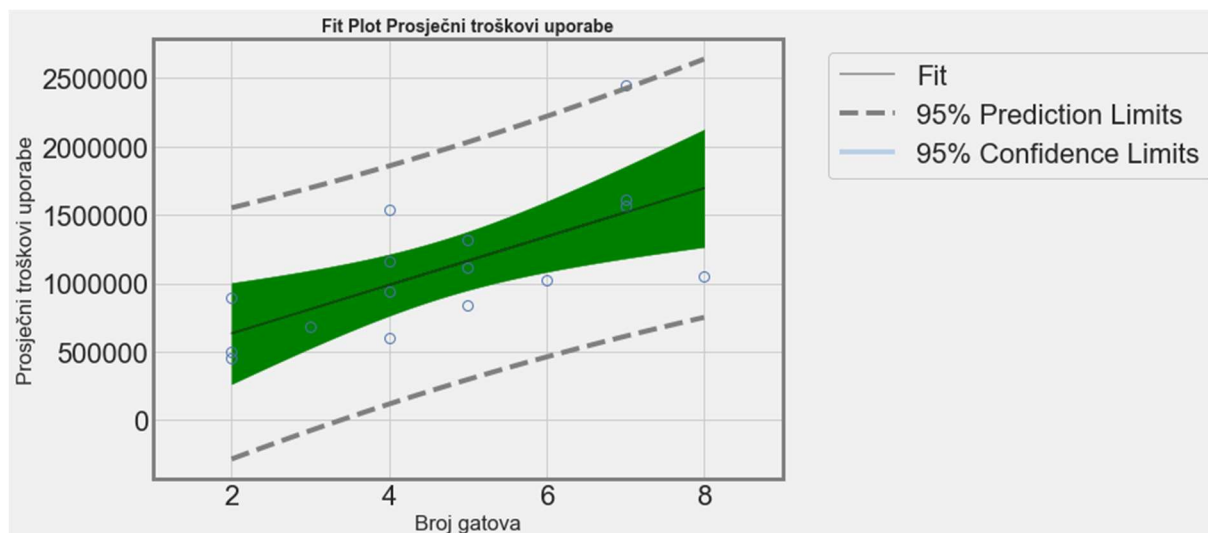


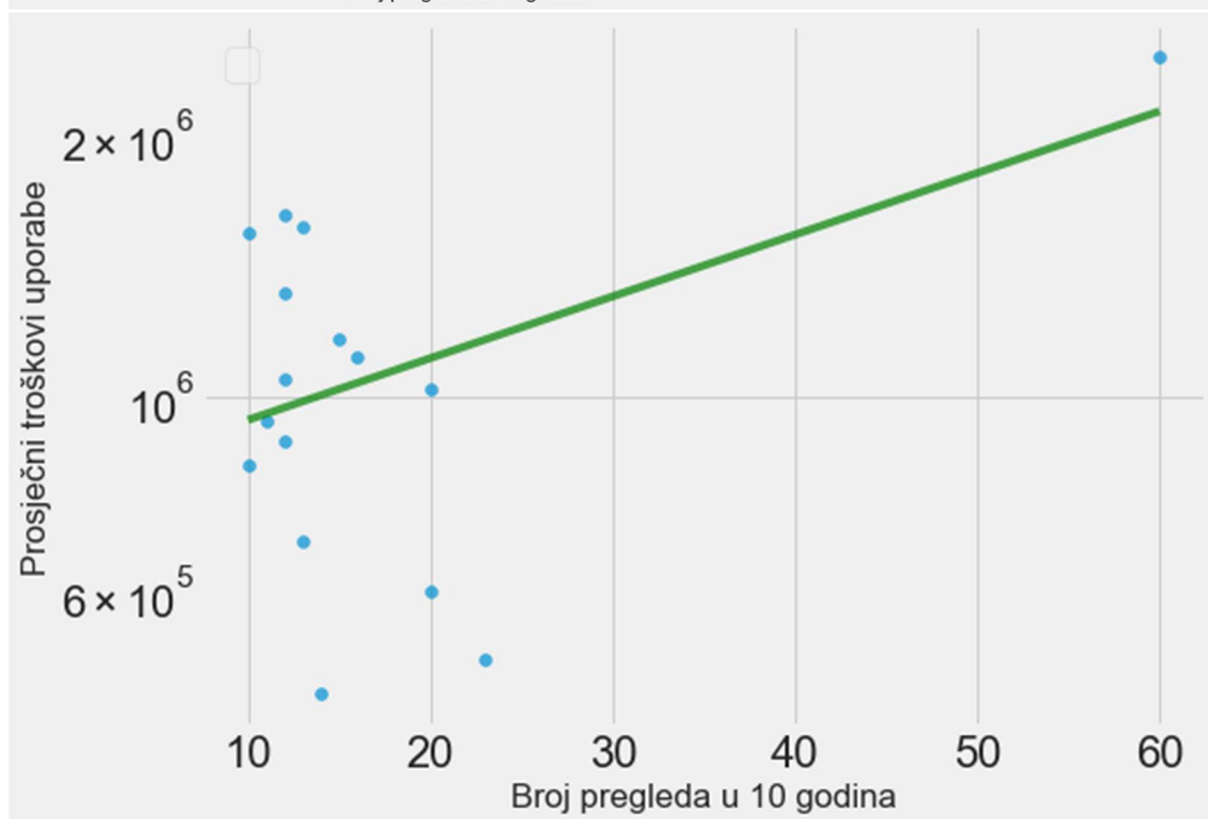
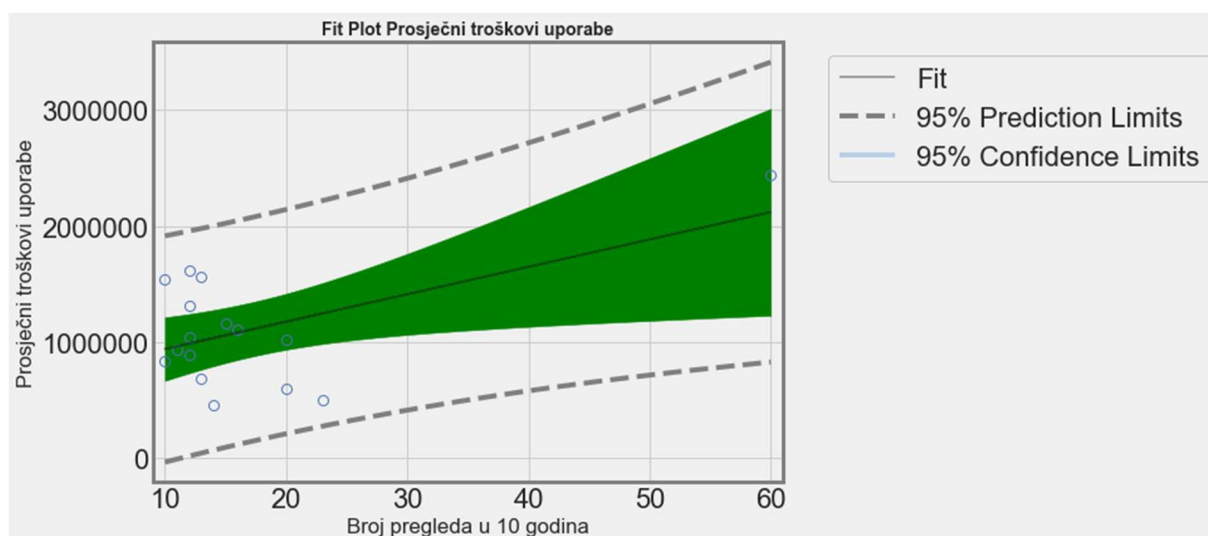




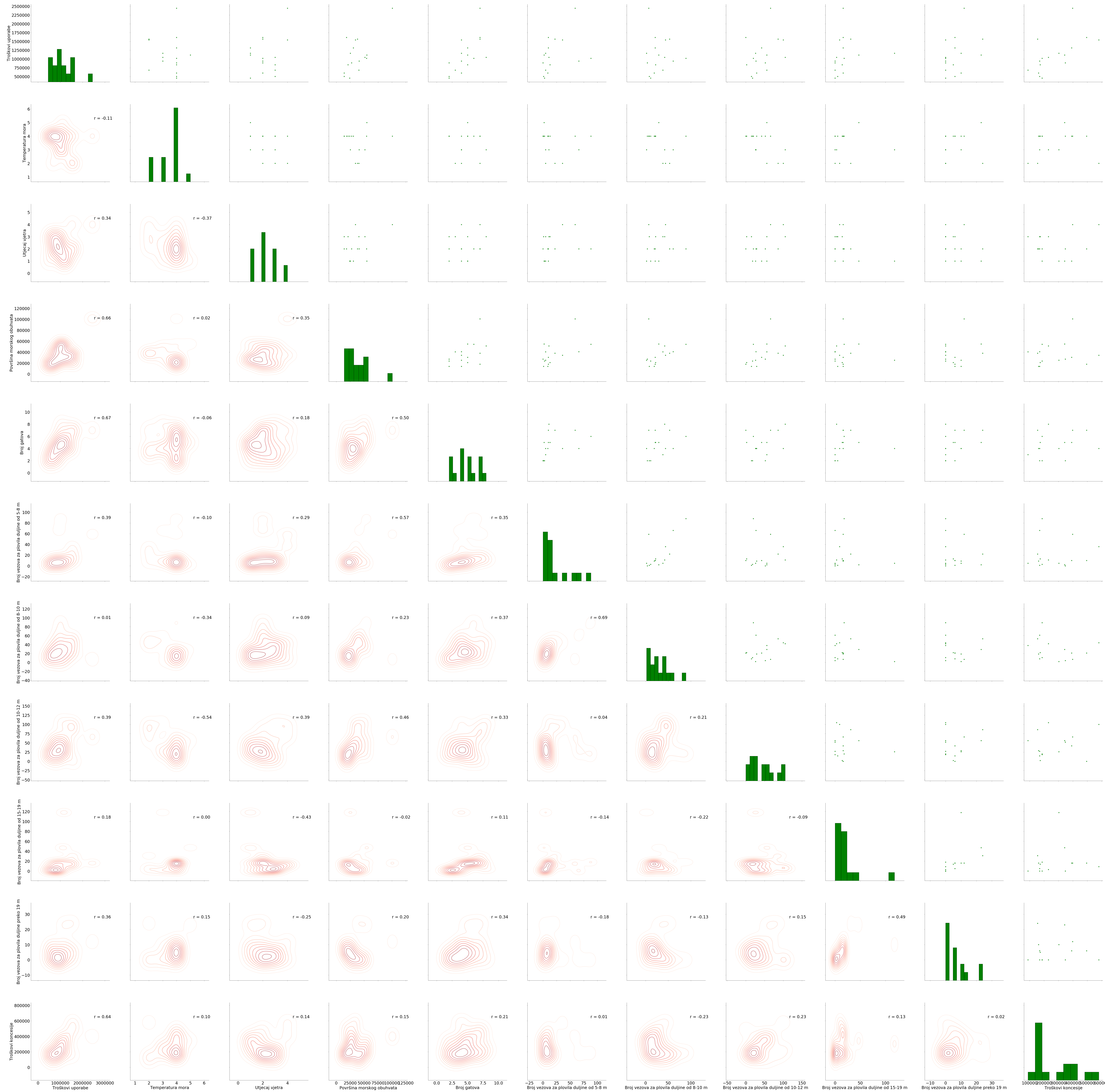








Pairs Plot



STATISTIČKA PODATAKA O TROŠKOVIMA ŽIVOTNOG CIKLUSA PONTONA I SIDRENOG SUSTAVA MARINE

