

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Maja R. Škurić

**DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA
ZA LOKALNI I REGIONALNI TRAJEKTNI
PREVOZ PUTNIKA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2022

UNIVERSITY OF BELGRADE
THE FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC
ENGINEERING

Maja R. Škurić

**SHIP FLEET SIZING FOR LOCAL AND
REGIONAL PASSENGER FERRY
TRANSPORT**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022

Mentor: Vanredni profesor, dr **Vladislav Maraš**
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Članovi
Komisije: Redovni profesor, dr **Aleksandar Perović**
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Vanredni profesor, dr **Aleksandar Radonjić**
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Viši naučni savetnik, dr **Tatjana Davidović**
Matematički institut Srpske akademije nauka i umetnosti - SANU

Redovni profesor, dr **Elen Twrđy**
Univerzitet u Ljubljani – Fakultet za pomorstvo i saobraćaj

Datum odbrane: _____2022.

IZJAVA ZAHVALNOSTI

Nakon višegodišnjeg naučnog istraživanja u izradi doktorata, iskoristila bih priliku da zahvalim mnogima koji su direktno ili indirektno bili uključeni u pisanju ove disertacije. Pre svega, najveću zahvalnost dugujem dragom mentoru, prof. dr Vladislavu Marašu koji mi je od prvog dana pružao bezrezervnu podršku pokazavši visok nivo profesionalnosti i zahvaljujući čijim preporukama, znanjem i iskustvom je ovo istraživanje dostiglo zapaženi kvalitet. Zahvalnost za nesebičnu pomoć, nemerljiv doprinos i podršku dugujem dr Tatjani Davidović, višem naučnom savetniku na Matematičkom institutu Srpske akademije nauka i umetnosti - SANU čije je strpljenje i predanost u radu upotpunilo ovo istraživanje, dok MISANU zahvaljujem za ustupanje hardverskih i softverskih resursa pri izradi doktorskog rada. Veoma sam zahvalna prof. dr Aleksandru Peroviću, prof. dr Aleksandru Radonjiću i prof. dr Elen Twrdy na izdvojenom vremenu, mudrim savetima i korisnim preporukama u konačnom izgledu ove disertacije.

Veliko hvala prijateljima, profesorima i kolegama sa Pomorskog fakulteta Kotor i Rektorata Univerziteta Crne Gore na konstantnoj podršci. Posebnu zahvalnost dugujem rođacima i ostalim svojim prijateljima, naročito Kristini Šaljperić koja mi je u velikoj meri olakšala rad i istraživanje i čija velikodušnost nema cenu.

Na kraju, hvala roditeljima, bratu i babi Jovanki na velikom strpljenju i motivaciji tokom celog školovanja, kao i na iskrenom verovanju u moj rad.

U Beogradu, 2022. godine

Doktorat posvećujem svojoj porodici.

DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA ZA LOKALNI I REGIONALNI TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA

Rezime: U literaturi, kao i u praksi, značaj putničkog trajektnog servisa se poistovećuje sa važnošću alternativnog vida prevoza u uskim i udaljenim područjima koji raspolažu ograničenom drumskom infrastrukturuom i zagušenjima koja nastaju kao rezultat visoke frekvencije saobraćaja na pojedinim deonicama puteva.

Predmet istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji se odnosi na problem optimalnog dimenzionisanja flote brodova za lokalni i regionalni transport putnika na primerima determinističke potražnje za prevozom na pomorskim plovidbenim linijama. Pored toga, ovde se analiziraju i neki oblici stohastičke potražnje za prevozom koju karakteriše određeni stepen neizvesnosti. Kroz matematičku formulaciju problema cilj je da se adekvatan način razvije model mešovitog celobrojnog programiranja (eng. *Mixed-Integer Programming* - MIP) za podršku odlučivanju oko izbora strukture flote brodova za trajektni prevoz putnika. Isto tako, pored primene egzaktnog solvera za rešavanje navedenog problema, u disertaciji su primenjene i savremene matheurističke metode za rešavanje primera velike dimenzije: metoda grananja kroz promenljive okoline (eng. *Variable Neighborhood Branching* - VNB), metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom za 0-1 MIP (eng. *Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP* – VNDS 0-1 MIP) i metoda pretrage okolina promenljivog intenziteta (eng. *Variable Intensity Neighborhood Search* - VINS).

Model je baziran na povećanju dobiti operatora prevoza i omogućava da se pored raspoložive flote brodova za transport meštana (čija je potražnja za prevozom prisutna tokom cele godine) uključi mogućnost nabavke ili najma dodatnih prevoznih kapaciteta (brodova) u cilju zadovoljenja povećane potražnje izletničkog servisa u periodima sezonske potražnje za prevozom. Dodeljivanje brodova za trajektni prevoz putnika na plovidbenim linijama obezbeđuju operatoru prevoza optimalno donošenje odluka u odnosu na dimenzionisanje flote brodova na lokalnom i regionalnom nivou na način da se smanji broj neiskorišćenih prevoznih kapaciteta (sedišta) na brodu.

Istraživanje u radu obuhvata, takođe, procenu pojave navigacionog rizika i emisije izduvnih gasova sa brodova za putnički prevoz morem, tako da su doneseni značajni zaključci kada je u pitanju organizacija prevoza putnika trajektnim brodovima u cilju obezbeđenja ekonomski isplative, sigurne, bezbedne i ekološki prihvatljive plovidbe.

Ključne reči: trajektni prevoz putnika, flota brodova za lokalni i regionalni prevoz putnika, mešovito celobrojno programiranje, matheuristike, potražnja za prevozom na pomorskim plovidbenim linijama, navigacioni rizik, emisija izduvnih gasova sa brodova

Naučna oblast: Saobraćajno inženjerstvo

Uža naučna oblast: Tehnologija transportnih procesa u vodnom saobraćaju

UDK broj:

**SHIP FLEET SIZING FOR LOCAL AND REGIONAL
PASSENGER FERRY TRANSPORT**

Abstract: In the literature and practice, the importance of passenger ferry service is recognized as significance of the alternative mode of transportation in narrow and remote areas that have limited road infrastructure or high traffic congestion on certain roads sections.

The subject of research in this doctoral dissertation relates to the optimal sizing of the fleet of ships for local and regional passenger transport on the examples of deterministic demand for transport along maritime shipping lines. In addition, some forms of stochastic demands for transportation, characterized by a certain degree of uncertainty, are analyzed here. Through the mathematical formulation of the problem, the goal is to adequately develop a mixed-integer programming (MIP) model to support decision-making about the choice of fleet structure for ferry passenger transportation. Also, in addition to the use of an exact solver to solve the problem, the dissertation uses modern metaheuristic methods for solving hard examples: Variable Neighborhood Branching - VNB, Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP (VNDS 0-1 MIP), and the Variable Intensity Neighborhood Search - VINS.

The model is based on the profit maximization of the ferry operator and allows the possibility of purchasing or chartering-in additional transport capacity (ferries) to meet increased tourist demand during periods of seasonal transportation (in addition to the available fleet of ferries for locals). The allocation of passenger ferries on shipping lines provides the transport operator with optimal decision-making concerning the sizing of the fleet at the local and regional level by reducing the number of unused transport capacities (seats) onboard the ferry.

The research includes the assessment of the nautical risk's occurrence and the exhaust emissions estimation from ferries. The significant conclusions were made for the

organization of passenger ferry transport to ensure the economic benefit, safe, secure, and environmentally friendly navigation.

Key words: passenger ferry transport, ferry fleet for local and regional passenger transportation, mixed-integer programming, matheuristics, transportation demands at routes, nautical risk, ship emission

Scientific field: Transport and traffic engineering

Scientific subfield: Water transport technologies

UDK number:

SADRŽAJ

	str.
1. UVOD	1
1.1. Motivacija	1
1.2. Predmet istraživanja i naučne metode	5
1.3. Hipoteze i ciljevi istraživanja.....	9
1.4. Struktura disertacije	11
2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE	15
2.1. Metode za određivanje optimalne veličine flote prevoznih sredstava....	15
2.2. Pojam i značaj veličine flote brodova u pomorskom transportu.....	20
2.3. Osvrt na istraživanja o učincima trajektnog servisa.....	25
2.4. Primena stohastičkog modeliranja u pomorskom transportu.....	27
2.5. Navigacioni rizik i emisija izduvnih gasova sa brodova	31
2.5.1. Uloga navigacionog rizika u pomorskom transportu	31
2.5.2. Ocena emisije izduvnih gasova sa brodova.....	32
3. RAZVOJ TRAJEKTOG PREVOZA PUTNIKA.....	35
3.1. Opšta razmatranja	35
3.2. Flota za trajektni prevoz putnika	38
3.2.1. Trajektni brodovi za prevoz putnika: ilustrativni prikaz.....	41
3.3. Razvoj trajektnih linija	43
3.3.1. Trajektni servisi na regionalnom nivou.....	52
3.3.2. Trajektni servisi na lokalnom nivou	56
4. JEDAN TEHNO-EKONOMSKI PRISTUP UVOĐENJA REDOVNOG TRAJEKTOG PUTNIČKOG SERVISU U EKSPLOATACIJU.....	61
4.1. Opšta razmatranja.....	61
4.2. Istraživanja uvođenja redovnog trajektnog prevoza putnika.....	65

4.3. Metode za procenu investicionog ulaganja u trajektnu flotu na primeru regionalnog prevoza.....	75
4.3.1. Računanje procene rentabilnosti investicionog ulaganja	77
4.3.2. Diskusija	79
5. MODELI ZA PROCENU NAVIGACIONOG RIZIKA I EMISIJE IZDUVNIH GASOVA SA BRODOVA U PUTNIČKIM LUKAMA	83
5.1. Definisanje rizika u pomorskom transportu	83
5.2. Model procene navigacionog rizika	86
5.3. Plovidbeno područje Bokokotorskog zaliva	91
5.3.1. Tehničko-tehnološke karakteristike Luke Kotor	93
5.3.2. Razvoj pomorskog saobraćaja u Bokokotorskom zalivu	95
5.4. Numerički primer	97
5.5. Rezultati novog scenarija u Bokokotorskom zalivu	101
5.6. Pojam emisije izduvnih gasova sa brodova.....	103
5.6.1. Međunarodna i nacionalna regulativa	105
5.6.2. <i>Bottom-up</i> pristup.....	107
5.7. Kvantifikacija emisije izduvnih gasova sa trajektnih brodova	109
5.7.1. Ulazni podaci	109
5.7.2. Definisanje faktora opterećenja brodskog pogona i koeficijenata emisije	111
5.7.3. Formulacija proračuna emisije	113
5.8. Rezultati i diskusija.....	114
6. FORMULACIJA MODELA ZA OPTIMALNO DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA U TRAJEKTNOM PREVOZU PUTNIKA	120
6.1. Polazne osnove za razvoj matematičkog modela	120
6.2. Matematički model	123
6.2.1. Notacija.....	123
6.2.2. Formulacija problema	125
6.2.3. Parametri i opis modela	127

6.3. Složenost modela.....	135
7. PRIMENA HEURISTIKA.....	136
7.1. Uvod.....	136
7.2. Metoda grananja kroz promenljive okoline (VNB)	140
7.3. Metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom za 0-1 MIP (VNDS 0-1 MIP)	143
7.4. Metoda pretrage okolina promenljivog intenziteta (VINS)	145
8. REZULTATI PRIMENE MODELA OPTIMALNOG ODREĐIVANJA VELIČINE I RASPOREĐIVANJA FLOTE BRODOVA ZA TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA.....	149
8.1. Opis primera.....	149
8.2. Lokacije trajektnih stanica u zalivu	151
8.3. Trajektne linije u zalivu	153
8.4. Numerički primeri kod kojih se dobija optimalno rešenje.....	158
8.5. Primer velike dimenzije	162
8.6. Analiza osetljivosti	165
8.7. Rezultati primera dobijeni primenom matheuristika.....	176
9. ANALIZA POTRAŽNJE ZA TRAJEKTNIM PREVOZOM PUTNIKA.....	185
9.1. Opšte informacije	185
9.2. Statistička analiza prometa turista u Bokokotorskom zalivu	187
9.3. Intervalna procena očekivanog broja putnika na linijama.....	200
9.4. Rezultati dimenzionisanja flote brodova	210
10. ZAKLJUČAK	220
LITERATURA	225
PRILOG I.....	247
PRILOG II.....	270

SPIŠAK TABELA

	str.
2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE	15
Tabela 2.1. Predmet istraživanja i pristupi rešavanju različitih problema optimalnog dimenzionisanja flote prevoznih sredstava	16
Tabela 2.2. Opšti problemi istraživanja linijskog redovnog pomorskog servisa	21
Tabela 2.3. Istraživanja u odnosu na učinke trajektnog servisa u putničkim lukama.....	26
3. RAZVOJ TRAJEKTOG PREVOZA PUTNIKA	35
Tabela 3.1. Procentualno učešće postojećih trajektnih linija u Sredozemlju	51
Tabela 3.2. Primeri regionalnog trajektnog servisa	54
Tabela 3.3. Primeri gradskog trajektnog servisa	56
Tabela 3.4. Udeo brodara u prevozu putnika u procentima.....	60
4. JEDAN TEHNO-EKONOMSKI PRISTUP UVOĐENJA REDOVNOG TRAJEKTOG PUTNIČKOG SERVISU U EKSPLOATACIJU	61
Tabela 4.1. Prihodi i rashodi (u \$) u odnosu na prvu cenu prevoza putnika	78
Tabela 4.2. Dobit (u \$) u odnosu na različite cene karte po putniku	79
Tabela 4.3. Rezultati dodeljivanja brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika	80
Tabela 4.4. Rezultati prihoda brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika	80
Tabela 4.5. Rezultati rashoda brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika	81
Tabela 4.6. Rezultati dobiti brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika	81
5. MODELI ZA PROCENU NAVIGACIONOG RIZIKA I EMISIJE IZDUVNIH GASOVA SA BRODOVA U PUTNIČKIM LUKAMA	83
Tabela 5.1. Kvantifikacija frekvencije rizičnih događaja	89

Tabela 5.2. Ocena eksperata u odnosu na frekvenciju rizičnih događaja (broj događaja u godini)	98
Tabela 5.3. Ocena eksperata u odnosu na posledice rizičnih događaja (broj putnika u godini)	98
Tabela 5.4. Rezultati očekivane vrednosti rizika (u putnicima po godini)	100
Tabela 5.5. Rezultati novog scenarija u Bokotorskom zalivu	102
Tabela 5.6. Standardi za NO _x	106
Tabela 5.7. Standardi za SO _x i PM	106
Tabela 5.8. Osnovne karakteristike brodskih linija	110
Tabela 5.9. Osnovne tehničke karakteristike brodova	110
Tabela 5.10. Faktori opterećenja motora u %	111
Tabela 5.11. Vrednosti koeficijenta emisije (g kWh ⁻¹)	112

6. FORMULACIJA MODELA ZA OPTIMALNO DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA U TRAJEKTNOM PREVOZU PUTNIKA

120	120
Tabela 6.1. Tipovi promenljivih i njihov broj.....	135

8. REZULTATI PRIMENE MODELA OPTIMALNOG ODREĐIVANJA VELIČINE I RASPOREĐIVANJA FLOTE BRODOVA ZA TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA.....

149	149
Tabela 8.1. Dužina glavnih trajektnih linija u zalivu	153
Tabela 8.2. Osnovne informacije primera mešovitog celobrojnog programiranja	159
Tabela 8.3. Rezultati primera dobijenih CPLEX solverom	160
Tabela 8.4. Ulazni podaci za brodove EFSA, EFSB, EFSC i plovidbene linije za sedmi mesec	162
Tabela 8.5. Ulazni podaci za brodove PFSA, PFSB, PFSC, CFSA, CFSB i CFSC i plovidbene linije za sedmi mesec	163
Tabela 8.6. Karakteristike modela mešovitog celobrojnog programiranja za primer 12Route333.....	164

Tabela 8.7. Rezultati dobijeni CPLEX-om za jednu godinu	164
Tabela 8.8. Optimalno rešenje dobijeno CPLEX-om za primer 12Route333-1	166
Tabela 8.9. Osnovne informacije o modelu mešovito celobrojnog programiranja za različite scenarije	166
Tabela 8.10. Rezultati dobijeni CPLEX-om za prvi scenario	167
Tabela 8.11. Rezultati dobijeni CPLEX-om za drugi scenario	169
Tabela 8.12. Rezultati dobijeni CPLEX-om za treći scenario	173
Tabela 8.13. Rezultati dobijeni CPLEX-om za četvrti scenario.....	174
Tabela 8.14. Rezultati dobijeni CPLEX-om za peti scenario	174
Tabela 8.15. Vrednost vremena t_{sub_1} , t_{sub_2} i t_{sub_3} VINS metode u svim scenarijima	177
Tabela 8.16. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za prvi scenario	178
Tabela 8.17. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za drugi scenario	179
Tabela 8.18. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za treći scenario	181
Tabela 8.19. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za četvrti scenario	182
Tabela 8.20. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za peti scenario	182
Tabela 8.21. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za jednu godinu	183
9. ANALIZA POTRAŽNJE ZA TRAJEKTNIM PREVOZOM PUTNIKA	185
Tabela 9.1. Procenat iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za prvi period u 2018. godini.....	190
Tabela 9.2. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za drugi period u 2018. godini.....	192

Tabela 9.3. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za treći period u 2018. godini.....	194
Tabela 9.4. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za prvi period u 2019. godini.....	194
Tabela 9.5. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za drugi period u 2019. godini.....	199
Tabela 9.6. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za treći period u 2019. godini.....	200
Tabela 9.7. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u prvom periodu na svim plovidbenim linijama u 2018. godini	207
Tabela 9.8. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u drugom periodu na svim plovidbenim linijama u 2018. godini	208
Tabela 9.9. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u trećem periodu na svim plovidbenim linijama u 2018. godini	208
Tabela 9.10. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u prvom periodu na svim plovidbenim linijama u 2019. godini	209
Tabela 9.11. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u drugom periodu na svim plovidbenim linijama u 2019. godini	209
Tabela 9.12. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u trećem periodu na svim plovidbenim linijama u 2019. godini	210
Tabela 9.13. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2018. godini	211
Tabela 9.14. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2019. godini	212
Tabela 9.15. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2018. godini sa izlaznim rezultatima praznih sedišta i strukture flote.....	213
Tabela 9.16. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2019. godini sa izlaznim rezultatima praznih sedišta i strukture flote.....	214

Tabela 9.17. Dimenzionisanje flote brodova za zadovoljenje potražnje u 2018. godini dobijeno CPLEX solverom – novi scenario	215
Tabela 9.18. Dimenzionisanje flote brodova za zadovoljenje potražnje u 2019. godini dobijeno CPLEX solverom – novi scenario	216
Tabela 9.19. Prikaz uposlenih brodova po periodima – novi scenario.....	217
Tabela 9.20. Komparacija rezultata stvarnog primera i novog scenarija za 2018. godinu	218
Tabela 9.21. Komparacija rezultata stvarnog primera i novog scenarija za 2019. godinu	218

SPISAK SLIKA

	str.
1. UVOD	1
Slika 1.1. Faze istraživanja u doktorskoj disertaciji.....	11
3. RAZVOJ TRAJEKTNOG PREVOZA PUTNIKA	35
Slika 3.1. Ukupna nosivost svetske trajektne i putničke flote od 2013. do 2021. godine (u hiljadama tona).....	39
Slika 3.2. Ukupna nosivost isporučenih brodova trajektne i putničke flote od 2012. do 2020. godine u tonama.....	40
Slika 3.3. Ukupna nosivost brodova trajektne i putničke flote sa LNG pogonom od 2006. do 2018. godine (u hiljadama tona).....	40
Slika 3.4. 10 najvećih ekonomija koje poseduju trajektne i ostale brodove za prevoz putnika, na dan 1. januar 2021. godine (milioni \$).....	41
Slika 3.5. Trajektne brodove za prevoz putnika: prevozni kapacitet 12 i 24 putnika.....	41
Slika 3.6. Trajektne brodove za prevoz putnika: prevozni kapacitet 46 i 60 putnika.....	42
Slika 3.7. Trajektne brodove za prevoz putnika: prevozni kapacitet 100 i 175 putnika.....	42
Slika 3.8. Trajektne brodove za prevoz putnika: prevozni kapacitet 250 i 300 putnika.....	43
Slika 3.9. Prednosti uvođenja trajektnog servisa.....	44
Slika 3.10. Promet putnika na trajektnim linijama Baltika, Severnog mora i Sredozemlja od 2011. do 2020. godine.....	47
Slika 3.11. Neke od važnih trajektnih linija u regionu Baltika i šire.....	48
Slika 3.12. Najvažnije trajektne linije u regionu Severnog mora.....	49
Slika 3.13. Najvažnije trajektne linije u regionu Sredozemlja.....	50
Slika 3.14. Promet 20 vodećih putničkih luka u Evropi.....	52

Slika 3.15. Shematski prikaz ciljeva koji su obuhvaćeni AT analizom	53
Slika 3.16. Međunarodne i priobalne trajektne linije u Republici Hrvatskoj.....	58
Slika 3.17. Promet putnika na državnim linijama u Republici Hrvatskoj	59

4. JEDAN TEHNO-EKONOMSKI PRISTUP UVOĐENJA REDOVNOG

TRAJEKTOG PUTNIČKOG SERVISA U EKSPLOATACIJU

Slika 4.1. Proces uvođenja operatora redovnog trajektnog prevoza	66
Slika 4.2. Odnos troškova iz ugla operatora i Vladinih institucija.....	68
Slika 4.3. Konceptualni model pozicioniranja operatora za trajektni prevoz	70
Slika 4.4. Dobit (u \$) u odnosu na prvu cenu prevoza putnika	79
Slika 4.5. Neto sadašnja vrednost (<i>NPV</i>) i interna stopa povrata (<i>IRR</i>)	82

5. MODELI ZA PROCENU NAVIGACIONOG RIZIKA I EMISIJE IZDUVNIH

GASOVA SA BRODOVA U PUTNIČKIM LUKAMA

Slika 5.1. Raspored opreme i prostora u Luci Kotor	94
Slika 5.2. Promet brodova za kružna putovanja morem i putnika u Luci Kotor od 2006. do 2019. godine.....	95
Slika 5.3. Primeri plovidbenih linija lokalnog pomorskog saobraćaja u Bokokotorskom zalivu	96
Slika 5.4. Posmatrane linije u Bokokotorskom zalivu	109
Slika 5.5. Ukupna emisija u tonama	115
Slika 5.6. Emisija izduvni gasova brodova u plovidbi	116
Slika 5.7. Emisija izduvni gasova brodova tokom manevrisanja i boravka na vezu.....	116
Slika 5.8. Emisija po putnik-milja u tonama	118

6. FORMULACIJA MODELA ZA OPTIMALNO DIMENZIONISANJE FLOTE

BRODOVA U TRAJEKTNOM PREVOZU PUTNIKA

Slika 6.1. Shematski prikaz modela.....	126
---	-----

7. PRIMENA HEURISTIKA	136
Slika 7.1. Pseudokod za VNB metodu.....	141
Slika 7.2. Ilustracija generisanja podproblema kod VNDS 0-1 MIP metode ...	144
Slika 7.3. Pseudokod za VNDS 0-1 MIP metodu.....	145
Slika 7.4. Pseudokod za VINS metodu.....	147
8. REZULTATI PRIMENE MODELA OPTIMALNOG ODREĐIVANJA VELIČINE I RASPOREĐIVANJA FLOTE BRODOVA ZA TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA.....	149
Slika 8.1. Predložene lokacije glavnih trajektnih stanica u zalivu	152
Slika 8.2. Izgled trajektnih linija i glavnih i sporednih trajektnih stanica u Bokokotorskom zalivu	154
Slika 8.3. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Kotorskom zalivu	155
Slika 8.4. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Risanskom zalivu	155
Slika 8.5. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Hercegovskom zalivu	156
Slika 8.6. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Tivatskom zalivu	156
Slika 8.7. Raspodela realizovanih putovanja svakog broda u posmatranom periodu za prvi scenario	168
Slika 8.8. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period januar- februar.....	170
Slika 8.9. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period mart- april	171
Slika 8.10. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period maj-jun	171
Slika 8.11. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period jul- avgust.....	172

Slika 8.12. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period septembar-oktobar	172
Slika 8.13. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period novembar-decembar	173
Slika 8.14. Raspodela realizovanih putovanja svakog broda za razmatrane periode u petom scenariju	175
Slika 8.15. Ukupna dobit operatora trajektnog prevoza za svaki scenario i jednu godinu	175

9. ANALIZA POTRAŽNJE ZA TRAJEKTNIM PREVOZOM PUTNIKA..... 185

Slika 9.1. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast.....	188
Slika 9.2. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	188
Slika 9.3. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	189
Slika 9.4. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom	189
Slika 9.5. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast.....	190
Slika 9.6. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	191
Slika 9.7. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	191
Slika 9.8. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom	192
Slika 9.9. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast.....	193

Slika 9.10. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	193
Slika 9.11. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast.....	194
Slika 9.12. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	195
Slika 9.13. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	195
Slika 9.14. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom	196
Slika 9.15. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast.....	196
Slika 9.16. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	197
Slika 9.17. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	198
Slika 9.18. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom	198
Slika 9.19. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast.....	199
Slika 9.20. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor.....	200
Slika 9.21. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za prvu liniju.....	202
Slika 9.22. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za drugu liniju.....	203
Slika 9.23. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za treću liniju.....	204

Slika 9.24. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za četvrtu liniju 205

1. UVOD

1.1. Motivacija

Pomorski trajektni (eng. *ferry*) prevoz putnika ima veoma važnu ulogu u opsluživanju lokalnih i regionalnih područja, a takođe predstavlja osnovu povezivanja ostrva sa kontinentalnim lokacijama u njihovom neposrednom okruženju. Ova vrsta prevoza je u bliskoj vezi sa drugim vidovima saobraćaja, direktno utiče na turizam jednog regiona ili države i u neraskidivoj je vezi sa kretanjem, odnosno mobilnošću stanovništva. Tržište trajektnih brodova naročito dobija na značaju kada se pomorski transport koristi kao alternativni način prevoza u odnosu na kontinentalne vidove transporta. Shodno Beloj knjizi (eng. *White Paper*) o saobraćajnoj politici iz 2010. godine, evropski regioni bi trebalo da ulože sredstva i prilagode lokalni i regionalni pomorski saobraćaj kako bi se smanjila zagušenja na drumskim saobraćajnicama (Commission of the European Communities, 2001). Na taj način bi se dovelo do uspostavljanja ravnoteže između različitih vidova transporta, a takođe bi se ostvario pozitivan efekat na zaštitu životne sredine kroz mere implementacije koncepta održivog razvoja u priobalnim područjima.

Razni aspekti trajektnog prevoza putnika, poput angažovanja heterogene flote brodova, uticaja rasporeda luka, vremena ukrcaja i iskrcaja putnika, stohastičko modeliranje pojedinih parametara koji utiču na prevoz putnika brodom i potražnje za istim, nisu, u velikoj meri, do sada istraživani. Transportna rastojanja utiču na transportne troškove i izbor brodova koji ih opslužuju. Postoje mesta, kao što su periferni regioni i ostrva, koja se prilikom realizacije ovog servisa (iz objektivnog razloga) ređe posećuju, tako da trajektni servis u tim područjima nije frekventan kao u onim regionima na kojima je povećan intenzitet saobraćaja. Zatim, često se javljaju razlike u potražnji za prevozom, što znači da je prisutna neizvesnost koja se obično odnosi na potražnju za prevozom u zimskim i letnjim mesecima, a naročito ako trajektni prevoz ima izrazito značajnu ulogu sa turističkog stanovišta. Kako navode Darzentas i Spyrou (1996), odnos sezonske i vanezonske potražnje za prevozom putnika nekada bude i do 10 puta veći na stranu

sezonske potražnje. Prema tome, neophodno je da flota brodova nekog brodarstva bude tako dimenzionisana da omogući zadovoljenje transportne potražnje tokom letnjeg perioda, kada se ostvaruje i najveći promet, ali i da struktura raspoložive flote smanji svoje gubitke tokom zimskog perioda kada je potražnja za prevozom znatno manja.

Uobičajeno je da se ovaj vid pomorskog prevoza nalazi, u velikom procentu, u rukama privatnih, a ne državnih preduzeća. To znači da država uz saglasnost resornog ministarstva često subvencionise brodarske kompanije kako bi se servisom obezbedilo održavanje linija, čak i u periodima smanjenog intenziteta saobraćaja i potreba za prevozom. Pošto u trenucima sezonskog povećanja potražnje za prevozom dolazi i do povećanja dobiti, obično postoji jaka konkurencija između operatora u realizaciji prevoza na različitim linijama. U slučaju povećane učestalosti saobraćaja, neophodno je analizirati i stepen bezbednosti pomorskog saobraćaja i ekološke održivosti celokupnog sistema, što je naročito značajno za regione koji ne raspolazu dovoljnom veličinom plovidbenog područja. Takođe, kod povećanja obima prevoza putnika često se zanemari stepen zagađenja vode i vazduha koji nastaju kao rezultat eksploatacije brodova, pa se u strategijama i akcionim planovima predlaže uvođenje brodova savremenih tehnologija u cilju očuvanja životne sredine. Konačno, neophodno je valorizovati i verifikovati ekonomsku opravdanost celokupnog projekta investiranja u trajektnu flotu za lokalni i/ili regionalni pomorski transport.

U lokalnom i regionalnom brodom i trajektnom prevozu putnika, flota brodova je najčešće heterogenog karaktera. Nabavke i angažovanje ove flote se obično planiraju za duži vremenski period u zavisnosti od različitih parametara, kao i tehnološkog razvoja. Pri tome, očekivane vrednosti prihoda i troškova, kao i odgovarajući stepeni neizvesnosti u potražnji za prevozom, predstavljaju najznačajnije odrednice i glavne faktore koji utiču na iskorišćenost raspoloživih brodova od strane brodarske kompanije (operatora prevoza). Iz tog razloga, određivanje optimalne veličine flote brodova namenjene lokalnom i/ili regionalnom pomorskom transportu putnika je od izuzetne važnosti u cilju ostvarenja veće dobiti operatora u čijem sastavu se nalaze brodovi različitih prevoznih kapaciteta i dimenzija. Za svaki brod koji se koristi u lokalnom ili regionalnom

pomorskom trajektnom servisu, prevozni kapacitet, kao i vreme transporta *od luke do luke* može biti promenljivo u zavisnosti od broja putnika, udaljenosti transportnih zahteva, operativnih uslova u luci itd (Benford, 1981; Lai i Lo, 2004). Takođe, prilikom definisanja istraživanja koje podrazumeva da se za svaki brod mora definisati određeni broj uplovljenja i isplavljenja iz luka na jednoj plovidbenoj liniji, mora se razmotriti njegova kompleksnost, što ga često svrstava u kategoriju kombinatornih problema. Ukoliko se plovidbeno područje karakteriše sezonskim efektima u veličini tražnje za prevozom putnika, onda se pre početka glavnog dela sezone obavljaju pripreme brodova i određuje se njihov minimalno potreban broj kako bi se zadovoljila potražnja putnika za prevozom i ostvarila maksimalna iskorišćenost resursa. Dosadašnja istraživanja su pokazala da je neophodno strateški rešiti problem raspoređivanja brodova na pojedinim linijama (Lo i drugi, 2013; Lai i Lo, 2004; An i Lo, 2014; Bakkehaug i drugi, 2014). Veoma važnu ulogu u lokalnoj i regionalnoj plovidbi igra trajektni prevoz putnika, odnosno servis koji se može koristiti u izletničke svrhe, najčešće na dnevnom nivou, ili kao redovni pomorski servis, na kraćim rastojanjima između ostrva, poluostrva, u zalivima itd. Prema tome, da bi se dimenzionisala veličina flote lokalnog i regionalnog trajektnog servisa, polazi se od definisanja svrhe korišćenja istih, tj. da li se navedeni brodovi koriste da zadovolje zahteve meštana koji svakodnevno imaju na raspolaganju ovu vrstu prevoza (npr. za odlazak na posao), i/ili je ova flota namenjena samo u turističke svrhe (pojava izletničkih brodova).

U sistemima kratke obalne plovidbe i dnevnih trajektnih linija, operator mora uzeti u obzir preferencije putnika koji se opredeljuju za različita putovanja u zavisnosti od sledećih kriterijuma: cene prevoza, vremena čekanja na prevoz, vrste putovanja, približnog vremena dolaska na željeno odredište itd. Kako bi se procenio nivo potražnje za prevozom, neophodno je analizirati i proces odlučivanja putnika kod izbora linije putovanja. Sve navedeno je značajno uzeti u obzir u trenucima pojave saobraćajnog zagušenja, kada može doći i do promene plana putovanja putnika koji će izabrati drugu liniju za realizaciju istog. Iz tog razloga, posebna pažnja se, u literaturi, posvetila aspektu neizvesnosti potražnje za prevozom, koji je realniji i fleksibilniji od klasičnog

determinističkog pristupa. Naročito je značajno ovakav pristup primeniti na lokacijama kod kojih je planirano putovanje moguće realizovati korišćenjem više vidova transporta, odnosno, kada potražnja za pomorskim prevozom nije fiksna (videti npr. Loxton i drugi 2012; An i Lo, 2014). Imajući ovakvu praksu na umu, u ovom istraživanju se polazi od toga da se na adekvatnom vremenskom nivou donose odluke u vezi raspoređivanja trajektnih brodova prema odgovarajućim transportnim zahtevima meštana koji nastaju kao posledica postojanja transportnih potreba putnika (definisane trajektnog servisa za redovne linije) i turista koji obilaze dati region (definisane izletničkog servisa za turističke linije). Kako istraživanje u ovoj doktorskoj disertaciji podrazumeva i procenu navigacionog rizika i ekološke posledice povećanog intenziteta pomorskog prevoza, u tom smislu je neophodno razmotriti pojavu rizičnih situacija koje mogu dovesti do negativnih posledica kada je u pitanju bezbednost plovidbe i nivoa emisije izduvnih gasova sa raspoređenih brodova na trajektnim linijama.

U slučaju neadekvatnog raspoređivanja brodova, dolazi do pojave neiskorišćenih prevoznih kapaciteta koji dovode do gubitaka u poslovanju brodarskih kompanija. Ukoliko veličina flote ne zadovoljava trenutnu potražnju, onda će brodar takođe biti u gubitku koji proističe iz propuštene šanse da ostvari veći prihod zbog nemogućnosti da odgovori na zahteve za prevozom. Kako bi se ovo prevazišlo, razvijene su mnogobrojne strategije čijom primenom operatori mogu umanjiti svoje troškove. Imajući to na umu, u disertaciji je predstavljen model kojim se determiniše optimalna veličina flote brodova koji može naći primenu u lokalnom i regionalnom pomorskom trajektnom prevozu putnika. Model mešovitog celobrojnog programiranja (eng. *Mixed-Integer Programming* MIP), tačnije mešovitog celobrojnog linearnog programiranja (eng. *Mixed-Integer Linear Programming* - MILP) za rešavanje determinističkog problema potražnje za prevozom putnika je, pored različitih numeričkih eksperimenata, primenjen na realnom primeru razvoja trajektnog servisa u Bokokotorskom zalivu u Crnoj Gori. Ono što ovaj model izdvaja od dosadašnjih prikazanih u referentnim istraživanjima iz ove oblasti jeste postavka koja nije tradicionalno vezana za minimizaciju troškova operatora prevoza, već implicira maksimizaciju dobiti operatora. Druga specifičnost ovog modela jeste

sveobuhvatnost, pri čemu se odvojeno posmatra redovni prevoz meštana i namenski prevoz turista. Navedena trajektna flota se raspoređuje na različitim plovidbenim linijama u zavisnosti od potražnje za prevozom, pri čemu će najpovoljnije iskorišćavanje ograničenih resursa, tj. brodova, biti postavljeno kao osnovni zadatak i cilj modeliranja.

Problem organizacije pomorskog trajektnog servisa je složen po mnogobrojnim kriterijumima. U slučaju velikog broja luka koje mogu biti na različitim međusobnim udaljenostima, optimizacija trajektnog servisa podrazumeva sagledavanje i analiziranje brojnih parametara i promenljivih koji deluju na učinke i poslovanje jedne broderske kompanije. Prema tome, primena različitih optimizacionih alata, u cilju donošenja najpovoljnijih odluka je neophodna, kako bi se omogućilo prilagođavanje trajektnog servisa dinamičnom okruženju, odnosno promenljivim veličinama potražnje za prevozom (Wang i Lo, 2008; Hoff i drugi 2010; Pantuso i drugi, 2014).

Shodno tome, cilj istraživanja u ovoj disertaciji se sastoji u određivanju optimalnog raspoređivanja brodova trajektnog servisa na definisanim linijama za prevoz putnika. Analiza se svodi na projekciju ukupnih troškova angažovane flote, kao i na procenu ukupnog prihoda broderskih kompanija koji nude svoje brodove za prevoz meštana i turista. Često se troškovi brodera povećavaju usled neispunjenja zahteva za prevozom putnika, kao i zbog pogrešne strategije raspoređivanja brodova prema transportnim zahtevima. Iz tog razloga, u ovoj disertaciji se maksimizuje dobit koju ostvaruju brodovi trajektnog prevoza putnika.

1.2. Predmet istraživanja i naučne metode

Predmet istraživanja se ogleda u razvoju modela za određivanje optimalnog dimenzionisanja flote brodova putničkog trajektnog servisa i njihovog raspoređivanja po plovidbenim linijama. Razvijeni model i predložene metode njegovog rešavanja su testirane na više primera, dok su pretpostavke i dodatne analize usmerene ka mogućnostima njihove primene na različitim vrednostima potražnje za prevozom. U skladu sa opštim razmatranjima, u disertaciji je predložen model mešovito celobrojnog

linearnog programiranja za determinističku potražnju za prevozom koji je proistekao kao rezultat višegodišnjeg istraživanja u pogledu optimizacije operativnih aktivnosti brodarske kompanije koja raspolaže flotom brodova za prevoz robe (tereta) i putnika. Prilikom definisanja problema i formulacije MILP modela, koristili su se zaključci i rezultati svih dostupnih prethodnih istraživanja koja su razmatrala koncept optimalnog dimenzionisanja i raspoređivanja flote brodova.

Isto tako, u delu analize rezultata, primenile su se metode za statističku obradu podataka ukazujući na stohastičnost potražnje za prevozom putnika, dok je analiza osetljivosti urađena za različite vrednosti potražnje na plovidbenim linijama i dimenzionisanja optimalne veličine flote. Ovde je potrebno naglasiti da model pretpostavlja korišćenje raspoloživih brodova za trajektni prevoz putnika, uz mogućnost investiranja u kupovinu i unajmljivanje dodatnih resursa. Ovakva i slične analize su neophodne kako bi se mogla predvideti neizvesnost potražnje za prevozom i time na najbolji način izvršilo raspoređivanje flote brodova prema transportnim zahtevima. Dakle, u ovom istraživanju je uz pomoć matematičkog modela određen broj raspoloživih i dodatno angažovanih brodova (ukoliko je potrebno) na pojedinim plovidbenim linijama u razmatranom periodu. Navedena metodologija ukazuje na ekonomičnost samog pristupa, jer optimizira rad flote kroz povećanje ekonomske dobiti.

Na osnovu raspoloživih podataka, u prvom koraku se definiše problem istraživanja koji prethodi pripremanju neophodnih aktivnosti pre modeliranja trajektnog prevoza putnika sa determinističkog aspekta potražnje za prevozom meštana i turista na plovidbenim linijama u posmatranom vremenskom periodu. Reč je o formulaciji problema koja je proistekla iz realnih primera trajektnog prevoza putnika koji obavljaju heterogene strukture postojeće flote, kao i onih koje podrazumevaju mogućnost kupovine ili unajmljivanja brodova za dodatne zahteve.

Prilikom modeliranja, polazi se od definisanja ulaznih podataka kao što su transportni zahtevi i raspoloživa flota brodova koja će biti dodeljena posmatranim plovidbenim linijama. Time se pružaju mogućnosti za razvoj i primenu adekvatnog matematičkog modela na osnovu kojeg će se optimizirati različiti tehničko-tehnološki

parametri trajektne flote, čime se stvara dobra osnova za planiranje budućih trendova razvoja brodarskih kompanija. U narednom koraku je izvršeno raspoređivanje brodova prema plovidbenim linijama kako bi se, na najpovoljniji način, odgovorilo na postojeću veličinu potražnje za prevozom i time ostvarila maksimalna dobit brodarske kompanije. Predloženi pristup, uz primenu MILP modela, a takođe i primenom heurističkih algoritama obuhvata statičke (odsustvo neravnomernosti) i dinamičke (uslovljene promenom intenziteta transportnih zahteva na liniji) elemente potražnje, koji su rezultat sezonskog efekta i potražnje na izletničkim turističkim linijama. Dodatnu vrednost modeliranja predstavlja neravnomernost u potražnji za prevozom turista. Pored toga, poseban deo doktorske disertacije je usmeren ka ekonomskoj opravdanosti uvođenja trajektnog prevoza putnika, pri čemu je primenjen klasični tehno-ekonomski pristup prisutan u literaturi. Izvršena je procena navigacionog rizika u prevozu putnika koja polazi od verovatnoće pojavljivanja rizičnog događaja u transportnim sistemima, dok je u cilju ostvarenja ekološke održivosti sistema razmatran postupak računanja nivoa emisije izduvnih gasova koja nastaje kao rezultat raspoređenih brodova na plovidbenim linijama.

Sa druge strane, metode za fleksibilno predviđanje potražnje su veoma često analizirane u dostupnoj literaturi. To se naročito odnosi na metode istraživanja procesa individualnog donošenja odluka pojedinaca u pogledu izbora linije ili rute za realizaciju planiranog putovanja. Stoga je ovde stavljen akcenat na osetljivost i statističku analizu potražnje za prevozom, koja je testirana na praktičnim primerima. U prethodnim istraživanjima, modeli raspoređivanja brodova na plovidbenim linijama prvenstveno su se odnosili na kretanja tj. plovidbu sa svrhom odlaska na posao i oni su za cilj imali minimizaciju ukupnih troškova prevoza. Ono što ovo istraživanje izdvaja od konvencionalnog je to što su za raspoređivanje brodova uzeti u obzir i transportni zahtevi za prevozom u turističke svrhe. Realizacija ovakvih transportnih zahteva omogućava ostvarivanje znatno većih prihoda od klasičnih zahteva, odnosno onih koji se odnose na plovidbu sa svrhom odlaska putnika na posao. Stoga, rezultati ovog istraživanja predstavljaju poseban doprinos poboljšanju procesa donošenja odluka u procesu

raspoređivanja brodova trajektnog servisa na plovidbenim linijama u razmatranom vremenskom periodu.

U cilju izrade modela razmatranog problema za optimalno dimenzionisanje flote brodova u lokalnom trajektnom prevozu putnika, pošlo se od prikupljanja podataka na konkretnom primeru u Bokokotorskom zalivu u Crnoj Gori. U tom pogledu, definisani su vremenski periodi pojave potražnje za pomorskim prevozom putnika, kao i predložene linije plovidbe brodova. Za modeliranje ovog prevoza korišćeno je mešovito celobrojno linearno programiranje, a dobijeni model na primerima manjih dimenzija rešavan je primenom CPLEX egzaktnog solvera, uz pomoć kojeg su u većini slučajeva dobijena optimalna rešenja u odnosu na izabranu funkciju cilja (dobit operatora prevoza). Kod nekih primera, CPLEX solver nije uspeo da dobije optimalno rešenje, tako da su u tim eksperimentima upotrebljeni heuristički algoritmi, kao i za rešavanje primera veće dimenzije. Prema tome, u toku izrade ove disertacije primenjivane su sledeće tehnike i pristupi:

- tehnike modeliranja optimizacionih problema pomorskog saobraćaja tj. metode operacionih istraživanja uključujući statički i dinamički aspekt problema koji se razmatra,
- matematičko programiranje,
- metode opservacija i statističke metode za intervalnu procenu očekivanog broja putnika na posmatranim linijama,
- metode kvantitativne i kvalitativne analize uključujući konkretne finansijske metode,
- komparativna i valorizaciona metoda,
- metode za procenu navigacionog rizika u plovidbenom području,
- analiza uticaja emisije izduvnih gasova sa brodova za trajektni prevoz putnika,
- studija slučaja,
- matheurističke metode za rešavanje formulisanog MILP modela,
- analiza, sinteza, induktivno-deduktivna metoda, apstrakcija, generalizacija.

Najvažniji rezultat doktorske disertacije predstavlja razvijeni matematički model za optimalno raspoređivanje brodova na rutama i određivanje optimalne veličine flote brodova trajektnog prevoza putnika u cilju ostvarenja veće ekonomske dobiti brodarske kompanije. Model je formulisan na način da obuhvati različite zahteve putnika za prevozom koji se odlikuju periodičnim promenama, kao i druge kriterijume koji su značajni za dimenzionisanje trajektne flote. Dobijeni rezultati različitih numeričkih primera su međusobno upoređivani sa stanovišta ukupne dobiti broдача koji raspolažu heterogenim flotama brodova na primeru trajektnog prevoza putnika.

Obavljeno istraživanje, kao i analiza mogućnosti direktne primene predložene metodologije na realnim sistemima drugih putničkih luka predstavlja svojevrsan doprinos razvoju trajektnog prevoza putnika u bilo kojoj drugoj studiji slučaja. Primena formulisanog matematičkog modela će omogućiti da luke, odnosno, brodarske kompanije i operatori prevoza imaju jasan uvid u sistem prihoda i troškova, kao i u neizvesnost potražnje za prevozom kako bi na najbolji način odgovorili različitim transportnim zahtevima.

1.3. Hipoteze i ciljevi istraživanja

U literaturi je primetno da se problem raspoređivanja brodova na linije plovidbe rešavao najčešće metodama matematičkog programiranja, kod kojeg se pretpostavlja nivo potražnje za prevozom. Potražnja za prevozom u ovim slučajevima je od najveće važnosti, s obzirom da direktno utiče na broj potencijalnih putnika koji zahtevaju prevoz, zatim, intenzitet saobraćaja na pojedinim plovidbenim linijama, očekivani broj obrta svakog broda u određenom vremenskom periodu, vrstu zahteva za prevozom itd.

S obzirom da je potražnju za prevozom putnika teško pretpostaviti, u ovoj disertaciji se prvo polazi od kvantifikacije intervalne procene očekivanog broja putnika na posmatranim izletničkim linijama po periodima, svrstavajući je kao stohastičku funkciju koja se ovde rešava primenom statističkih metoda. Upravo ova osobina utiče na varijabilnost dinamičkog elementa potražnje za prevozom turista u odnosu na raspoložive

prevozne kapacitete trajektnih brodova. Polazi se od toga da operatori imaju na raspolaganju brodove različitih prevoznih kapaciteta, dakle poznata je kategorija brodova postojeće flote. Ceo koncept je tako zamišljen da se otvori mogućnost operatoru da usled povećane potražnje za prevozom ima mogućnost da kupi ili unajmi dodatne brodove i time zadovolji zahteve za prevozom. U ovakvim situacijama je od velikog značaja da heterogenu flotu tj. postojeću, kupljenu i unajmljenu kojom raspolažu, operatori rasporede na linije plovidbe na najbolji mogući način. Prema tome, posebna pažnja ovog istraživanja je posvećena pronalaženju praktičnog rešenja u pogledu najpovoljnijeg angažovanja trajektne flote u prevozu putnika jedne savremene broderske kompanije.

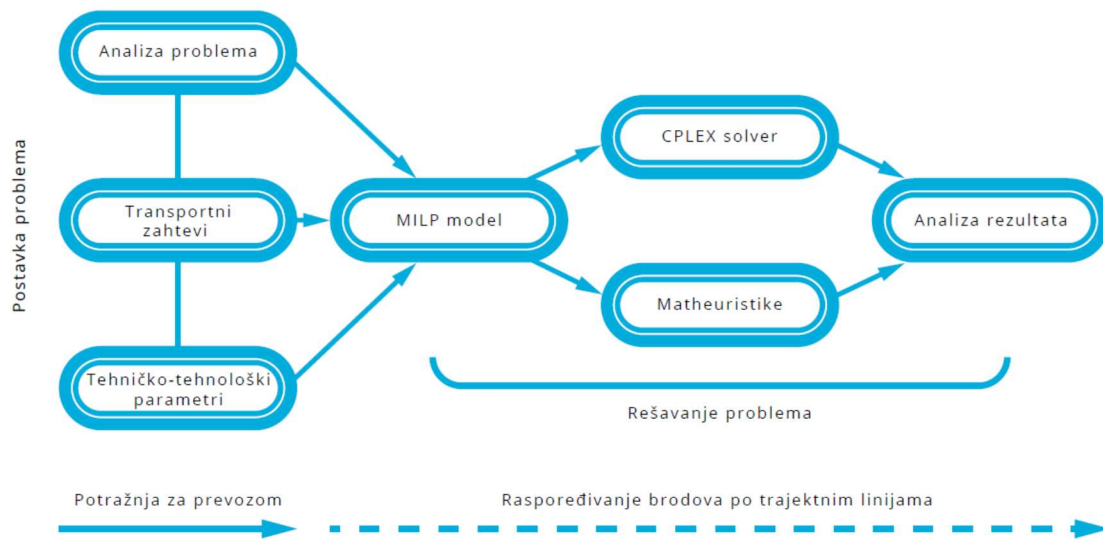
Rad na doktorskoj disertaciji zasniva se na sledećim polaznim hipotezama:

- Pretpostavlja se da postoji objektivna potreba za uvođenjem novog i unapređenjem postojećeg sistema trajektnog prevoza putnika kao i opravdanost analize i sistematizacije troškova prevoza putnika u cilju podizanja opšteg nivoa kvaliteta transportne usluge.
- Pretpostavlja se da se uz pomoć adekvatnog MILP modela može optimizovati postojeći sistem pomorskog trajektnog prevoza i unaprediti njegova sveobuhvatnost kroz optimalno raspoređivanje brodova prema različitim vrednostima transportnih zahteva.

Radi dokazivanja polaznih hipoteza, definiše se i nekoliko dodatnih hipoteza:

- Omogućava se donošenje optimalnih odluka u pogledu raspoređivanja brodova na trajektne linije u posmatranom vremenskom periodu i uz odgovarajuću potražnju za prevozom.
- Na osnovu empirijske analize, primenom navedenog modela, moguće je unaprediti postojeće strategije prevoza meštana i turista morskim putem.
- Moguće je definisanje i determinisanje statičkog i dinamičkog elementa u pogledu neravnomernosti potražnje za prevozom kroz razmatranje sezonskog efekta.
- Dobijenim rezultatima u procesu raspoređivanja brodova i dimenzionisanja flote prema transportnim zahtevima moguće je ostvariti sveobuhvatnu efikasnost sistema.

Cilj istraživanja prikazan po fazama u ovoj doktorskoj disertaciji je dat na slici 1.1.



Slika 1.1. Faze istraživanja u doktorskoj disertaciji

1.4. Struktura disertacije

U skladu sa predmetom i naučnim ciljevima rada, ova doktorska disertacija je strukturirana u deset poglavlja.

U drugom poglavlju pod nazivom *Pregled relevantne literature*, opisane su različite tehnike modeliranja optimalne veličine flote brodova. Prvenstveno je napravljen osvrt na značaj određivanja optimalne veličine flote brodova u pomorskom transportu, kao i na važnost trajektne flote specijalizovane za prevoz putnika. Napravljena je sistematizacija odgovarajuće literature podeljene na četiri kategorije. Posebno su naglašene studije koje su se odnosile na probleme raspoređivanja brodova prema transportnim zahtevima, dok su metode za procenu potražnje za prevozom naročito analizirane. U nastavku je pregled relevantne literature obuhvatio i istraživanja koja su bila usmerena ka definisanju uloge navigacionog rizika u pomorskom transportu. Konačno, u poslednjem delu je opisan značaj ekoloških uticaja na uspostavljanje trajektnog prevoza putnika kroz analizu procene emisije izduvnih gasova sa ovih brodova.

Razvoj trajektnog prevoza putnika je naziv trećeg poglavlja disertacije. U prvom delu je dat ilustrativni prikaz trajektne flote za prevoz putnika sa osnovnim dimenzionim karakteristikama. Razvoj trajektnih linija u pojedinim plovidbenim područjima je analiziran u narednom delu poglavlja, pri čemu su istaknute i prednosti uvođenja ovog servisa. Ovde su posebno obrađene dominantne trajektne linije u Evropi, i to: trajektne linije Baltičkog mora, Severnog mora i Sredozemlja. Zatim su date osnovne karakteristike trajektnih servisa na regionalnom i lokalnom nivou. Podaci o floti za trajektni prevoz putnika prisutnoj na svetskom nivou su obrađeni u okviru statističke analize koja čini zasebne celine ovog poglavlja.

Da bi se opravdalo uvođenje trajektne flote u eksploataciju, u četvrtom poglavlju je prikazan jedan tehno-ekonomski pristup uvođenja trajektnog servisa za prevoz putnika na regionalnom nivou. Ovde je predstavljena ekonomsko-finansijska analiza, poznata u literaturi za projekte ulaganja u održivu flotu. Pored toga, predstavljen je model za procenu troškova koji nastaju kao rezultat uvođenja trajektne flote za prevoz putnika u eksploataciju. Slično studiji za uvođenje solarnih katamarana u Bokokotorskom zalivu (Expeditio, Blue Coach, 2013) za prevoz putnika, u ovom poglavlju je urađen jednostavan numerički primer koji je pokazao rentabilnost investicionog ulaganja i uvođenja ovog servisa.

Modeli za procenu navigacionog rizika i emisije izduvnih gasova sa brodova u putničkim lukama, naziv je petog poglavlja disertacije. Prvo je ukazano na značaj procene navigacionog rizika u putničkim lukama. Modelirane su različite vrste rizika uključujući i promet brodova za trajektni prevoz putnika. Sa druge strane, primenom adekvatne metodologije, modelirana je emisija izduvnih gasova sa trajektnih brodova. Obe eksperimentalne analize su urađene na lokalnom nivou i zajedno sa tehno-ekonomskom procenom uspostavljanja trajektnog servisa predstavljaju sastavne elemente kompletne analize o dimenzionisanju optimalne veličine trajektne flote za prevoz putnika i raspoređivanje brodova na transportnim linijama.

Šesto poglavlje, *Formulacija problema za optimalno dimenzionisanje flote brodova u trajektnom prevozu putnika*, predstavlja i glavni deo ove disertacije. Reč je o

uspostavljanju MILP modela koji je primenjen za optimalno dimenzionisanje i raspoređivanje flote brodova u trajektnom prevozu putnika. Po svojoj formi je koncipiran za rešavanje determinističkog problema potražnje za prevozom putnika. U okviru ovog poglavlja, ukazano je na značaj dveju vrsta korisnika prevoza - meštana i turista. Cilj je da se kroz formulaciju modela definišu parametri redovnog servisa za prevoz meštana, dok se na turističkim linijama posebno uključuju ulazni podaci koji po svojoj strukturi moraju imati sezonski karakter. Model razmatra mogućnost iskorišćenja postojeće flote kao i kupovinu i unajmljivanje dodatnih brodova ukoliko se potražnja za prevozom povećá.

Primena heuristika je naziv sedmog poglavlja. Pored primenjenog egzaktnog solvera za rešavanje optimizacionih problema u ovoj disertaciji, primećeno je da isti nailazi na probleme usled nedostatka memorije i nije u mogućnosti da sa fiksnim parametrima nađe optimalna rešenja za problem velike dimenzije. Iz tog razloga su u ovom poglavlju predstavljene heuristike koje do sada nisu primenjivane na probleme trajektnog prevoza putnika. Naime, primena heurističkih metoda na razvijeni MILP model dovodi do pojave matheuristika koje pretražuju najbolja moguća rešenja funkcije cilja i odbacuju one okoline koje ne mogu poboljšati trenutno najbolje rešenje. U okviru ovog poglavlja, opisane su tri matheurističke metode, i to: metoda grananja kroz promenljive okoline (eng. *Variable Neighborhood Branching* - VNB), metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom za 0-1 MIP (eng. *Variable Neighborhood Decomposition Search* – VNDS 0-1 MIP) i metoda pretrage okolina promenljivog intenziteta (eng. *Variable Intensity Neighborhood Search* - VINS).

Osmo poglavlje pod nazivom: *Rezultati modela optimalnog određivanja veličine i raspoređivanja flote brodova za trajektni prevoz putnika*, predstavlja analizu dobijenih rezultata za više razmatranih slučajeva dodeljivanja brodova za trajektni prevoz putnika na linijama plovidbi u posmatranom vremenskom periodu. Rezultati su dobijeni uz pomoć CPLEX egzaktnog solvera i matheurističkih metoda objašnjenih u sedmom poglavlju. Ukazano je da su za primer velike dimenzije matheurističke metode dobile bolje rezultate uz kraće vreme rada računara u odnosu na egzaktni solver. Urađena je

analiza osetljivosti koja je ukazala na prednosti i nedostatke različitih scenarija (slučajeva) dodeljivanja brodova za trajektni prevoz putnika na primeru Bokokotorskog zaliva.

Analiza potražnje za trajektnim prevozom putnika je naziv devetog poglavlja disertacije. U ovom delu se ukazuje na neravnomernost zahteva za prevozom, tj. potražnje za prevozom onda kada je ista izložena nekim stohastičkim aspektima izazvanim sezonskim promenama, tako da je predikciju za prevozom putnika teško modelirati. U ovom delu se razmatra neizvesnost potražnje za prevozom turista pri čemu se računa intervalna procena očekivanog broja putnika na posmatranim linijama. Zatim se za različite vrednosti potražnje modelira ukupna dobit brodarske kompanije u zavisnosti od nivoa transportnih zahteva na različitim plovidbenim linijama i uz dimenzionisanje flote trajektnih brodova i dodeljivanje brodova raspoloživim rutama.

Poslednje poglavlje – *Zaključak*, sadrži relevantan osvrt na urađenu analizu i dobijene izlazne rezultate. Razvoj samog matematičkog modela, primena egzaktnog solvera i matheurističkih metoda predstavlja značajan doprinos ovom polju istraživanja. Svakako, ovakve i slične studije omogućavaju operatorima trajektnog prevoza putnika donošenje optimalnih odluka kada je u pitanju dimenzionisanje flote brodova za realizaciju transportnih zahteva na linijama plovidbi u razmatranom vremenskom periodu. Ovo istraživanje predstavlja značajan iskorak u modeliranju potražnje za prevozom, primeni matheurističkih metoda i uspostavljanju redovnog trajektnog servisa na lokalnom i regionalnom nivou.

2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

2.1. Metode za određivanje optimalne veličine flote prevoznih sredstava

Tehnike modeliranja za rešavanje velikog broja transportnih problema podrazumevaju primenu različitih optimizacionih i simulacionih alata koji daju pouzdana rešenja. Kako je predmet istraživanja ove disertacije usmeren ka adekvatnom dimenzionisanju flote brodova za trajektni prevoz putnika, ovaj deo predstavlja sistematičan pregled dosadašnjih istraživanja i primenjenih metoda za određivanje veličine flote prevoznih sredstava. Zatim sledi dodatna analiza relevantne literature koja uključuje opis obrađenih problema dimenzionisanja flote brodova sa posebnim osvrtom na putničku trajektnu flotu. Shodno ciljevima istraživanja u disertaciji, u ovom poglavlju je napravljen osvrt na literaturu koja razmatra pronalaženje rešenja za operativne procese u putničkim lukama pored istraživanja pojave navigacionog rizika u plovidbi, kao rezultata uspostavljanja redovnog prevoznog servisa i procene emisije izduvnih gasova sa brodova, kao posledice povećanog intenziteta saobraćaja uvođenjem dodatne flote u eksploataciju.

U tabeli 2.1 prikazana je sistematizovana podela predmeta istraživanja koji se u potpunosti ili delimično odnose na optimizaciju veličine flote prevoznih sredstava primenjene u različitim vidovima saobraćaja i industriji, dostupne u literaturi od 2004. godine. S obzirom na uvid u postojeće reference, napravljena je klasifikacija po predmetu istraživanja, tako da je definisano četiri oblasti koje se odnose na: optimalnu veličinu flote i rutiranje prevoznih sredstava, optimalnu veličinu flote prevoznih sredstava, optimalnu veličinu flote i efikasnost brodova i ostale relevantne probleme ispitivanja prevoznog kapaciteta. U tabeli 2.1 je dat opis primenjene metodologije ili pristupa ka rešavanju problema koji su identifikovani po predmetima istraživanja.

Glavni cilj prilikom determinisanja flote brodova i njenog pojavljivanja na pomorskom tržištu odnosi se na modalitet definisanja njene optimalne strukture. U tom smislu, određivanje broja brodova kao i njihovog prevoznog kapaciteta predstavljaju osnovni zadatak od kojeg treba krenuti.

Tabela 2.1. Predmet istraživanja i pristupi rešavanju različitih problema optimalnog dimenzionisanja flote prevoznih sredstava

Predmet istraživanja: Optimalna veličina flote i rutiranje prevoznih sredstava	
<i>Referenca</i>	<i>Metodologija/pristup</i>
Zhang i Li (2007)	<p>Primenjena je Dantzig-Wolf dekompoziciona metoda i predložen je egzaktni algoritam koji je baziran na simpleks metodi, dinamičkom programiranju i metodi grananja i ograničavanja.</p> <p>Modelirana je optimalna veličina voznog parka i rešavan je problem rutiranja vozila.</p>
Braysy i drugi (2009)	<p>Primenjena metaheuristika za rešavanje problema optimalne veličine voznog parka i rutiranja vozila u posmatranim vremenskim periodima.</p> <p>Uključivanje vremenskog okvira za opsluživanje klijenata i upotreba heterogenog voznog parka u cilju minimizacije ukupnih troškova.</p>
Raa (2015)	<p>Optimizacija veličine voznog parka i problema rutiranja vozila je razmatrana kroz minimizaciju ukupnih troškova podeljenih na fiksne, specifične i troškove zadržavanja vozila na ruti.</p> <p>Problem je formulisan kao nelinearni matematički model, a linearni model je iskorišćen u rešavanju situacija kada su frekvencije prevoza ograničene pojedinim skupom vrednosti.</p> <p>U eksperimentalnoj analizi je primenjena dvofazna heuristička metoda.</p>
Kilby i Urli (2016)	<p>Korišćene tehnike programiranja sa ograničenjem (eng. <i>constraint programming</i>) i prilagođena metoda pretraživanja okolina velikih dimenzija (eng. <i>Large Neighbourhood Search</i>) za rešavanje problema rutiranja vozila u drumskom transportu i definisanje veličine voznog parka.</p> <p>Formulisan je MIP model.</p>

Tabela 2.1. Predmet istraživanja i pristupi rešavanju različitih problema optimalnog dimenzionisanja flote prevoznih sredstava (*Nastavak*)

Predmet istraživanja: <i>Optimalna veličina flote prevoznih sredstava</i>	
<i>Referenca</i>	<i>Metodologija/pristup</i>
Topaloglu i Powell (2007)	Definisan problem stohastičkog dinamičkog modeliranja veličine voznog parka i njegovog prevoznog kapaciteta. Predstavljen adaptivni algoritam kada se struktura parametara u funkciji cilja menja u odnosu na promenu broja i prevoznog kapaciteta vozila.
Shyshou i drugi (2010)	Rešavan stohastički problem dimenzionisanja flote brodova u operacijama <i>offshore</i> platformi. Razvijen je simulacioni model u softverskom paketu Arena 9.0 da bi se odredila odgovarajuća konfiguracije flote brodova.
George i Xia (2011)	Rešavanje lokacijskog problema i optimalnog raspoloživog broja vozila. Korišćen je model masovnog opsluživanja. Sa povećanjem dimenzije problema koji se rešava, u ovom radu je data aproksimativna formulacija koja je dovela do obezbeđenja kvalitetnih izlaznih rezultata.
Koc i drugi (2014) i Koc i drugi (2016)	Razmatran integrisani problem dimenzionisanja voznog parka i emisije izduvnih gasova sa heterogene flote vozila koja je dodeljena pojedinim linijama prevoza. Primenjen je hibridni metaheuristički algoritam koji je moguće primeniti na primere velikih dimenzija. Kasnije je urađen na primeru lokacijskog problema i problema rutiranja vozila.
Sha i Srinivasan (2016)	Određivanje veličine voznog parka sa tankovima koji se koriste za prevoz u hemijskoj industriji je cilj ovog istraživanja. Primenjeno je simulaciono modeliranje bazirano na agentima kako bi rešili problem optimalnog dimenzionisanje broja vozila.

Tabela 2.1. Predmet istraživanja i pristupi rešavanju različitih problema optimalnog dimenzionisanja flote prevoznih sredstava (*Nastavak*)

Predmet istraživanja: Optimalna veličina flote i efikasnost brodova	
<i>Referenca</i>	<i>Metodologija/pristup</i>
Koo i drugi (2004)	Procena efikasnosti flote u realizaciji transportnih zahteva na kontejnerskim terminalima. Primenjen je heuristički algoritam tabu pretraživanja (<i>tabu search</i>) koji omogućava pronalaženje minimalne veličine transportne flote i linija prevoza prilikom zadovoljenja potražnje za transportom.
Kang i drugi (2008)	Predstavljeno više matematičkih modela koji optimizuju prevozni kapacitet kontejnerske flote na terminalima u cilju smanjenja operativnih troškova. Korišćena teorija masovnog opsluživanja i Markovljevi lanci. Reč je o dinamičkim operativnim aktivnostima na terminalu.
Dong i Song (2009)	Razmatran problem dimenzionisanja optimalne veličine flote kontejnerskih brodova i repozicioniranja praznih kontejnera. Upotreba optimizacionih alata koji su bazirani na simulaciji, genetskim algoritmima i evolucionim metodama.
Jabali i drugi (2012)	Procena efikasnosti upotrebe flote prevoznih sredstava. Strateški (dugoročno) definisati vrstu i broj prevoznih sredstava koje je potrebno imati u sastavu flote, kako bi se ispunili zahtevi za prevozom. Formulacija modela mešovitog celobrojnog nelinearnog programiranja.
Christiansen i drugi (2013)	Definisanje mreža linijske plovidbe i dodeljivanje brodova plovidbenim linijama. Mogućnost angažovanja dodatne flote. Formulisan je matematički model za mogućnost angažovanja dodatnih brodova različitih prevoznih kapaciteta.
Mulder i Dekker (2014)	Istraživana optimalna konfiguracija flote jedne brodarske kompanije. Razvijen je specijalni algoritam za dimenzionisanje flote.

Tabela 2.1. Predmet istraživanja i pristupi rešavanju različitih problema optimalnog dimenzionisanja flote prevoznih sredstava (*Nastavak*)

Predmet istraživanja: Ostali relevantni problemi ispitivanja prevoznog kapaciteta	
<i>Referenca</i>	<i>Metodologija/pristup</i>
Pascoe i drugi (2013)	Procena tehničke efikasnosti i iskorišćenja kapaciteta brodova ribarske flote je razmatrana. Analiza obavljanja podataka (eng. <i>Data Envelopment Analysis</i> - DEA) je primenjena. Rezultati ukazuju na veliki značaj heterogene flote, parametara kao što su iskorišćenje kapaciteta, tehnička efikasnost i efektivnost.
Yaghini i Khandaghabadi (2013)	Specificiran problem određivanja optimalne dimenzije flote železničkih prevoznih sredstava. Predstavljen je dinamički model pri čemu su potražnja za prevozom i vreme putovanja determinističke veličine, dok je primenjen hibridni algoritam koji je nastao kao kombinacija metaheurističkih metoda - genetskih algoritama i metode simuliranog kaljenja.
Milenković i Bojović (2013)	Definisan problem optimalnog dimenzionisanja železničkih vagona i alokacije železničkih kompozicija. Primenjena fazi (eng. <i>fuzzy</i>) logika, tačnije, fazi linearni dinamički model za rešavanje problema dimenzionisanje flote u cilju minimizacije troškova poslovanja.
Klosterhalfen i drugi (2014)	Autori su istraživali optimalnu strukturu i veličinu železničke flote. Prvo je formulisan MILP model koji minimizuje ukupne direktne troškove železničkih kola. Zatim je veličina flote modelirana uz pomoć aproksimacije koja podrazumeva neizvesnost pojedinih parametara. Rešavan je deterministički problem, dok metoda može naći svoju primenu i u stohastičkoj varijanti.
Andersson i drugi (2015)	Dodeljivanje i upošljavanje flote brodova u Ro-Ro prevozu. Razvijen je heuristički algoritam koji se može primeniti i na neke druge transportne probleme.

Na osnovu pregleda relevantnih istraživanja, za brodarsku kompaniju je neophodno odrediti optimalnu strukturu flote, jer su troškovi brodova (fiksni i varijabilni) izuzetno visoki. Sa druge strane, tehnološki procesi na lučkim terminalima su poslednjih decenija visoko sofisticirani. Kada je u pitanju planiranje linijske plovidbe, veoma je značajno doneti odluku o tome na koji način brodove dodeliti plovidbenim linijama. U teoriji, ali i praksi, predlaže se vremenski okvir od šest meseci koji je potreban operatorima prevoza da nađu adekvatno rešenje.

Iako linijsko brodarstvo karakteriše dovoljan broj brodova u floti za realizaciju transportnih zahteva na različitim linijama plovidbe, nije izuzetak da za pojedine potrebe ili u situacijama velike potražnje za prevozom angažuju dodatnu flotu. Sa druge strane, različiti oblici iznajmljivanja svoje flote drugim operatorima prevoza nisu retkost.

2.2. Pojam i značaj veličine flote brodova u pomorskom transportu

Ovaj odeljak se sastoji iz dva dela: u prvom se na pregledan način prikazuje značaj određivanja veličine flote brodova za prevoz putnika i tereta u pomorskom transportu, dok je u drugom delu prikazana ocena dosadašnjih istraživanja i različiti primeri koji se odnose na iskorišćenje trajektne flote brodova.

Kao što je prethodno navedeno, modeli raspoređivanja brodova na plovidbene linije prvenstveno su se odnosili na kretanja, tj. plovidbu sa svrhom odlaska na posao i oni su za cilj imali minimizaciju ukupnih troškova prevoza. Za razliku od navedenog istraživanja, u ovoj disertaciji su uzeti u obzir transportni zahtevi za prevozom turista koji su sve više postali vodeći korisnici ovog vida prevoza, s obzirom da plovidba u turističke svrhe beleži značajan udeo u ukupnoj dobiti operatora prevoza.

Realizacija ovakvih transportnih zahteva omogućava ostvarivanje znatno većih prihoda od klasičnih zahteva, odnosno onih koji se odnose na plovidbu sa svrhom odlaska meštana na posao ili u obavljanju neke druge svakodnevne aktivnosti. Neki od opštih problema istraživanja redovnog pomorskog servisa su prikazani u tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Opšti problemi istraživanja linijskog redovnog pomorskog servisa

Predmet istraživanja	Referenca
Primenjeno je <i>linearno programiranje</i> u cilju minimizacije operativnih troškova linijskog (redovnog) pomorskog servisa.	Perakis i Jaramillo (1991); Jaramillo i Perakis (1991)
Modelom <i>linearnog programiranja</i> se predstavljaju strategije rutiranja brodova linijske plovidbe. Računa se očekivana dobit brodarske kompanije.	Cho i Perakis (1996)
Korišćeno je <i>mešovito celobrojno linearno programiranje</i> u cilju pronalaska optimalne frekvencije pomorskog servisa. Numerička analiza je urađena uz pomoć egzaktnog CPLEX solvera u odnosu na dnevni nivo dodeljivanja flote transportnim linijama.	Gelareh i Meng (2010)
Sistematizovana su istraživanja u kojima se posmatraju industrijski aspekti kombinovane flote i <i>problem rutiranja transportnih sredstava</i> u pomorskom i drumskom transportu. Radovi sadrže različite matematičke formulacije preuzete iz svetske literature.	Hoff i drugi (2010); Pantuso i drugi (2014)
Rešavan je problem optimalnog upošljavanja kontejnerskih brodova uzimajući u obzir <i>stohastičku potražnju za prevozom</i> .	Ng (2015)
Primenjen je egzaktni CPLEX MIP solver i heuristike u cilju maksimizacije dobiti brodarske kompanije, a sve u odnosu na prevoz kontejnera u unutrašnjoj plovidbi.	Maraš i drugi (2013)
Istražuje se dnevno rutiranje brodova i problem dodeljivanja tereta u linijskom prevozu. Primenjuje se <i>Lagranžova relaksacija i lokalna pretraga</i> .	Lin i Tsai (2014)
Primenjena je heuristika adaptivne pretrage velikih okolina za rutiranje brodova i raspoređivanje u odnosu na odvojene zahteve za prevozom.	Bakkehaug i drugi (2014)

Shodno Beloj knjizi o evropskoj saobraćajnoj politici (Commission of the European Communities, 2001), u praksi se pojavljuju negativni efekti u vidu eksternalija, koje dovode do stvaranja zagušenja na drumskim saobraćajnicama i generisanju štetnih materija u vazduhu koje direktno utiču na zdravlje ljudi. Upravo su zagušenja definisana kao veliki problem čiji se uzrok nalazi u nedostatku adekvatne infrastrukture i interoperabilnosti među vrstama transporta. Sa druge strane, ovo se takođe odnosi i za regione koji ne raspolažu odgovarajućom železničkom infrastrukturom. To je dovelo i do velike potrošnje goriva i gubitka ekonomske kompetitivnosti.

Jedan od ciljeva Bele knjige je da se prevoz ljudi i tereta premesti sa drumskih saobraćajnica na alternativne vidove saobraćaja, kao što su morski prevoz i unutrašnja plovidba. Na taj način bi se oživela kratka obalna plovidba i povećao bi se kvalitet lučkih servisa, jer bi više luka bilo povezano u zajedničku mrežu linija, a naročito izolovana područja i ostrva do kojih se može stići upravo ovom vrstom prevoza (Buck Consultants International, 2014).

Problemi smanjenja operativnih troškova brodova su razmatrani od strane nekolicine autora koji su svoja istraživanja započeli sredinom osamdesetih godina prošlog veka. Tako je Perakis (1985) predložio model koji je obuhvatio uvođenje veštačkih ograničenja prilikom definisanja problema računanja operativnih troškova uključujući godišnje karakteristike kapaciteta prevoza tereta u funkciji brzine broda. Istraživanja koja su realizovana od strane autora Perakis i Papadakis (1987) su razmatrala problem obezbeđenja minimalnih troškova tokom obavljanja operativnih aktivnosti flote brodova. Oni su u svojim analizama primenili nelinearne optimizacione algoritme. Papadakis i Perakis (1989) su razvili model koji je baziran na Lagranžovoj metodi u cilju dobijanja minimalnih troškova flote brodova za prevoz rasutih tereta. Powell i Perkins (1997) su primenili celobrojno programiranje da bi minimizovali operativne troškove i troškove neiskorišćenosti flote jednog trajektnog brodarstva na različitim linijama plovidbe. Wang i drugi (2013) su razvili MIP model na primeru smanjenja ukupnih troškova flote linijskog servisa.

Za razliku od gore navedene literature, u nastavku sledi pregled referentnih istraživanja u odnosu na povećanje dobiti broderske kompanije koja su realizovana u

velikoj meri u prethodnom periodu. Tako su Nicholson i Pullen (1971) uz pomoć dinamičkog programiranja razvili specifičnu politiku prodaje i zamene brodova i na taj način ostvarili povećanje prihoda brodarske kompanije. Maraš (2008) je u svom radu primenio mešovito celobrojno programiranje uz pomoć kojeg je rasporedio unajmljene kontejnerske brodove i potisnice za realizaciju prevoza u unutrašnjoj plovidbi. Ovde su prikazani rezultati povećanog prihoda linijskog kontejnerskog prevoza u unutrašnjoj plovidbi, uzimajući u obzir repozicioniranje praznih kontejnera. Kasnije su Maraš i drugi (2013) razvili metodologiju za proračun dobiti brodarske kompanije u prevozu tereta u unutrašnjoj plovidbi. Autori su predložili formulaciju MILP modela da bi odredili uzvodnu i nizvodnu dinamiku saobraćaja punih i praznih kontejnera. Konings i drugi (2013) su razmatrali *hub-and-spoke* kontejnerski servis u Luci Rotterdam i analizirali performanse troškova u unutrašnjoj plovidbi, dok je planiranje linija plovidbi brodova u pomorskom i unutrašnjem vodnom transportu objašnjeno u Maraš (2017). Jorgensen i drugi (2011) su koristili modifikovanu eksponencijalnu funkciju potražnje uz pomoć koje su izračunali dobit korisnika trajektnog prevoza kao i dobit za 97 operativnih linija u Norveškoj. Za razliku od ovog istraživanja, Baird (2012) je analizirao efikasnost trajektnog prevoza i prednosti njegove primene u izolovanim područjima kakva su ostrva u Orknijskom arhipelagu.

Problem planiranja redovnog prevoza sa neizvesnom potražnjom za prevozom je obrađen u radu Meng i Wang (2010). Autori su koristili celobrojno linearno programiranje i model je razvijen i rešavan u egzaktnom CPLEX solveru sa odgovarajućim ograničenjima u potražnji za prevozom tereta. Problem raspoređivanja i dodeljivanja flote transportnim zahtevima je dugo već analiziran od strane autora koji su se bavili redovnim lokalnim i regionalnim prevozom tereta ili putnika. Još je Benford (1981) primenio jednostavnu proceduru koju su kasnije menadžeri flote upotrebljavali u cilju pronalaska optimalne kombinacije dodeljivanja brodova plovidbenim linijama. On je istakao da je raspoloživost flote prvi parametar o kojem se mora voditi računa.

Među najranijim radovima koji su razmatrali raspored linijske flote brodova su oni koji se dovode u vezu sa autorima Perakis i Jaramillo (1991) i Jaramillo i Perakis (1991). U prvoj studiji je opisan realan problem pri čemu je definisan model za procenu

operativnih troškova. U drugoj studiji, model je testiran na primeru postojeće višenamenske flote ili potpuno kontejnerizovanih brodova. Jorgensen i drugi (2004) su računali dugoročne marginalne troškove operatora trajektnog prevoza za različite brodove u zavisnosti od dužine putovanja. U svom istraživanju su se skoncentrisali na korelaciju između cene prevoza i dužine putovanja. Gelareh i Meng (2010) su rešavali kratkoročni problem uposlenja flote u linijskom prevozu primenjujući mešovito celobrojno nelinearno programiranje. Nakon linearizacije modela, autori su predložili mešovito celobrojno linearno programiranje za pronalazak optimalne frekvencije servisa linijskog prevoza.

Kada je reč o analizi trajektnog prevoza putnika i tereta, Gelareh i Pisinger (2011) su formulisali MILP model koji su upotrebili u cilju dodeljivanja flote brodova plovidbenim linijama u prekookeanskoj plovidbi. Oni su modelirali eleastičnost potražnje i predstavili tzv. dekompozicionu metodu. Sa druge strane, Laird (2012) je razmatrao ekonomski i socijalni značaj postojanja trajektnog servisa na primeru udaljenih i izolovanih područja od kontinenta. Ovde je dokazana opravdanost postojanja trajektnog prevoza putnika i tereta.

Laderman i drugi (1966) su koristili linearno programiranje za dimenzionisanje flote brodova za prevoz rasutih tereta i uz pomoć modela su rešili problem raspoređivanja brodova na trajektne linije prevoza. Cho i Perakis (1996) su primenili linearno programiranje i mešovito celobrojno programiranje sa binarnim promenljivim kako bi predvideli buduću potražnju za prevozom. Koristeći matricu učestalosti saobraćajnog toka na ruti, autori su predstavili opšti model za rešavanje problema rutiranja i rasporeda flote na plovidbene linije. Darzentas i Spyrou (1996) su predstavili simulaciono modeliranje trajektnog prevoza među ostrvima u Egejskom moru. Oni su predstavili rešenje za donosiocelu odluku tako što su u simulacioni model uneli vrednosti ulaznih podataka kao što su: vrsta broda, raspored opreme i prostora u luci, vremenski uslovi, potražnja za prevozom vozila i putnika itd. Industrijski aspekti kombinovane flote prevoznih sredstava za pomorski i drumski transport su razmatrani u radu Hoff i drugi (2010). Autori su klasifikovali problem definisanja optimalne veličine flote i rutiranja plovila. Pregled relevantnih referenci u kojima su istraživane i primenjivane metode

operacionih istraživanja su obavili Meng i drugi (2013). Autori su razmatrali probleme rutiranja i raspoređivanja kontejnerskih brodova sa strateškog, taktičkog i operativnog aspekta.

Lin i Tsai (2014) su koristili Lagranžovu metodu i lokalnu pretragu kako bi rešili problem rutiranja brodova za prevoz tereta na dnevnom nivou i posmatrali su ostvarene frekvencije linijskog servisa. Rezultati ukazuju na mogućnost unapređenja servisa kao i smanjenje određenih troškova. Konačno, Mancini (2016) je minimizirala ukupne troškove isporuke tereta uz pomoć heterogene flote brodova. Primenjen je MIP model u kombinaciji sa matheuristikama.

2.3. Osvrt na istraživanja o učincima trajektnog servisa

Mogućnosti razvoja putničkih luka koristeći analitički hijerarhijski pristup u cilju pregleda javnih i privatnih povoljnosti za rad luka, opisane su u radu Vaggelas i Pallis (2010). Značaj intermodalog transporta baziran na konceptu pomorskih autoputeva (*Motorways of the Sea*) kvantitativno je analiziran u radu Lupi i drugi (2017). Učinci ove vrste prevoza su upoređivani sa performansama drumskog transporta na primeru italijanske obale. Slično istraživanje su obavili Morales-Fusco i drugi (2012), kada su promovisali navedeni koncept i kratku obalnu plovidbu kroz pet strategija za prevoz tereta. Banos i drugi (2018) su promovisali značaj istog koncepta na primerima pomorskih linija koje povezuju Nant (Francuska) i Hihon (Španija), ukazavši na značaj ekonomskog uticaja na lokalnu privredu i turizam. Kada je u pitanju kratka obalna plovidba na evropskom kontinentu, u radu Suarez-Aleman (2016) je istaknuta konkurentnost ovog vida saobraćaja, kao i promocija novih pomorskih koridora. Veoma je mali broj istraživačkih poduhvata koji se odnose na unapređenje operativnih strategija i lučke infrastrukture kada su ove luke u pitanju, a koji za cilj imaju ostvarenje većih prihoda. Sa druge strane, uticaj tranzicionih promena u pomorskom putničkom transportu u hrvatskim lukama je predstavljen u istraživanju koje su obavili Cottam i drugi (2007). U radu Baird (1997a,b) su opisane aktivnosti putničke luke Leith, gde je opisan detaljan plan razvoja novog terminala i pregled budućih lučkih troškova. Marti i Cartaya (1996)

su opisali promene putničkih tokova koje su uticale na nivo prihoda samih luka. U radu Hersh i Ladany (1989), autori su uz pomoć dinamičkog programiranja maksimizovali prosečan nivo prihoda u putničkoj luci. Simultano su ispitivali nivo prihoda i troškova luke. U tabeli 2.3 je dat pregled relevantnih istraživanja o putničkim lukama.

Tabela 2.3. Istraživanja u odnosu na učinke trajektnog servisa u putničkim lukama

Predmet istraživanja	Reference
Uz pomoć <i>dvofaznog heurističkog algoritma</i> računat je optimalan broj trajektnih brodova i definisana je konfiguracija mreže trajektnog prevoza.	Lai i Lo (2004)
Predložena su tehnička rešenja u cilju minimizovanja <i>emisije izduvnih gasova</i> sa putničkih trajektnih brodova u lukama Njujork i Nju Džerzi.	Winebrake i drugi (2005)
Nakon nekoliko uporednih analiza, predložen je <i>raspored ruta</i> putničkog trajektnog servisa.	Ceder i Sarvi (2007)
Razvijeno je nekoliko modela <i>raspoređivanja flote</i> trajektnog servisa. Elaborirani su rezultati.	Yan i drugi (2007)
Raspoređivanje i rutiranje trajektnog servisa sa različitim operativnim karakteristikama je istraživano uz pomoć <i>mešovitog celobrojnog nelinearnog programiranja</i> .	Wang i Lo (2008)
Primenom <i>celobrojnog programiranja</i> , rešavan je problem rasporeda brodova trajektne flote. Rezultati su dobijeni uz pomoć egzaktnog CPLEX solvera.	Karapetyan i Punnen (2013)
Cilj istraživanja se odnosi na unapređenje performansi u putničkim lukama kako bi se ostvario veći promet istih. Primenjena je metoda <i>fazi-analitičko hijerarhijskih procesa</i> .	Wang i drugi (2014)
Ukazano je na <i>značaj</i> trajektnog prevoza u putničkim lukama.	Castillo-Manzano i drugi (2014)
Primenjena je metoda za izgled mreže trajektnog prevoza u Luci Hong Kong kada je potražnja stohastička veličina. Formulisan je problem kao dvofazni stohastički program. Autori su primenili gradijentnu metodu zasnovanu na pouzdanosti servisa (eng. <i>Service Reliability based gradient solution approach</i>).	An i Lo (2014)

Ceder i Sarvi (2007) su napravili analizu dizajna ruta trajektnog prevoza putnika. Samo istraživanje je započeto podacima koji su ukazivali na to da je ovu vrstu prevoza neophodno unaprediti. Wang i Lo (2008) su razvili model mešovitog celobrojnog nelinearnog programiranja i primenom heuristike rešili problem rutiranja i raspoređivanja brodova trajektnog prevoza putnika. Mitrović-Minić i Punnen (2011) su razvili heuristički algoritam da reše problem rutiranja i raspoređivanja heterogene trajektne flote koja služi za transport vozila, tegljača i putnika. Karapetyan i Punnen (2013) su predstavili model celobrojnog programiranja za optimalno raspoređivanje trajektne flote. Na razvijeni model primenili su CPLEX solver. U istraživanju Karapetyan i Punnen (2014), autori su formulisali model celobrojnog programiranja većih dimenzija za razliku od onog koji su isti autorili razvili u radu iz 2013. godine. Analiza koju su izvršili Lai i Lo (2004) se sastoji od modeliranja optimalne veličine flote brodova za trajektni prevoz putnika, rutiranja i raspoređivanja istih na plovidbene linije. Ovde su primenjeni heuristički algoritmi i dobijeni rezultati su upoređivani sa onima koji su dobijeni u CPLEX solveru, a sve na primeru Luke Hong Kong.

Castillo-Manzano i drugi (2014) su razmatrali značaj trajektnog prevoza u putničkim lukama, ukazujući na poslovne aktivnosti luka koje se nalaze u blizini aerodromskih centara.

2.4. Primena stohastičkog modeliranja u pomorskom transportu

Prilikom modeliranja transportnih problema, naročito onih koji podrazumevaju definisanje optimalne veličine flote prevoznih sredstava, mora se voditi računa o tome da se obezbedi broj istih (u ovom slučaju trajektnih brodova za prevoz putnika) kako bi se izbegla mogućnost pojave nedostatka ponuđenih kapaciteta prevoza. Do toga dolazi onda kada nije unapred poznata potražnja za prevozom ili je ista izložena nekim stohastičnim aspektima usled varijacija izazvanih sezonskim promenama, visinom cene prevoza, tehničkim rešenjima, otkazima sistema itd. Iz tog razloga se stohastičnost određenih transportnih procesa u velikoj meri razmatrala u naučnoj literaturi, dok je na nivou putničke trajektne flote zabeleženo samo nekoliko značajnijih istraživanja. Svakako, opšti

modeli stohastičnosti i primene različitih metoda se mogu razmotriti i na primeru potražnje za trajektnim prevozom putnika.

U nekim slučajevima se usled stohastičnosti potražnje za prevozom dešavaju situacije kada kapacitet trajektne flote za prevoz putnika nije dovoljan da zadovolji transportne zahteve u datom vremenskom periodu. Neadekvatno odgovaranje, u smislu obezbeđenja prevoznog kapaciteta, na zahteve za transportom treba redukovati kako bi operator prevoza razvio odgovarajuću strategiju za planiranje kapaciteta i strukture trajektne flote za prevoz putnika. Shodno tome, moraju se razmotriti rešenja poput kupovine ili unajmljivanja dodatnih kapaciteta, tj. brodova u cilju efikasnosti samog sistema. Upravo te odluke oko nabavke ili unajmljivanja dodatne flote dolaze do izražaja kada je prisutna stohastičnost nekih parametara kao što je cena broda, potražnja za prevozom, cena unajmljivanja itd. Kao što je ranije navedeno, odluke su strateškog karaktera, jer ukazuju na mogućnost definisanja strukture flote brodova u dužem vremenskom periodu, a ujedno oslikavaju i neizvesnost pojedinih parametara. Prema Bakkehaug i drugi (2014), ovde su navedeni neki od parametara koje karakteriše stepen neizvesnosti:

- cena novoizgrađenih i korišćenih brodova,
- potražnja na tržištu korišćenih brodova,
- ponuda na tržištu korišćenih brodova,
- kapacitet vezova duž operativne obale luke,
- potražnja za unajmljenim brodovima,
- cena unajmljivanja brodova,
- potražnja za prevozom,
- operativni troškovi itd.

Pregled dosadašnjih istraživanja koja se odnose na stohastičko modeliranje potražnje za prevozom je neophodan kako bi se mogla predvideti potražnja za prevozom i time na najbolji način izvršilo raspoređivanje flote brodova prema transportnim zahtevima. Metode za fleksibilno predviđanje potražnje su veoma često primenjene u literaturi. To se naročito odnosi na metode istraživanja procesa individualnog donošenja odluka pojedinaca u pogledu izbora linije ili rute za realizaciju planiranog putovanja.

Fagerholt (1999) je predložio metodologiju za optimalno rutiranje brodova u linijskom prevozu, posmatrajući aspekt dimenzionisanja flote brodova. Yan i drugi (2007) su predstavili strategiju kompanije za trajektni prevoz koja je bazirana na problemu raspoređivanja saobraćajnog toka u cilju obezbeđenja ekonomičnosti prevoza.

Meng i drugi (2012) su modelirali problem kratkoročnog linijskog prevoza sa neizvesnom potražnjom za kontejnerskim prevozom. Model koji su ovi autori razvili razmatra i aspekt stohastičnosti. Slično, Loxton i drugi (2012) su primenili stohastičko modeliranje flote brodova u cilju minimizacije odgovarajućih operativnih troškova. Primenili su savremeni algoritam koji predstavlja kombinaciju dinamičkog programiranja i *metode zlatnog preseka*. Dalje, Lo i drugi (2013) i An i Lo (2014) su razmatrali dva tipa mreže trajektnog prevoza sa stohastičkom potražnjom i korisničkim ekvilibrijumom. Na osnovu dobijenih rezultata ove analize, autori su ustanovili da se regularne linije plovidbe realizuju prema fiksnom redu vožnje, dok dodatni servisi treba da se realizuju od strane unajmljene flote. Bakkehaug i drugi (2014) su istraživali probleme u brodarstvu sa strateškog nivoa upošljavanja nove flote na transportne zadatke. Koncept korisničkog ekvilibrijuma je formulisan kao model linearnog programiranja uključujući i mogućnost kašnjenja zbog preopterećenosti prevozom. Ng (2015) je kroz numeričku analizu razmatrao problem optimalnog uposlenja kontejnerskih brodova sa unapred poznatom potražnjom. Testirana je i stohastička zavisnost na različitim primerima.

Ng (2014) je istraživao problem uposlenosti flote u cilju povećanja dobiti koristeći mešovito celobrojno linearno programiranje. Potražnja za prevozom je podrazumevana da sadrži aspekt stohastičnosti i opisana je raspodelama verovatnoće. Pantuso i drugi (2014) su napravili detaljan pregled literature u vezi dimenzionisanja flote brodova koji se koriste u pomorskom transportu, ali su u svojoj analizi obuhvatili i druge optimizacione probleme koji su se odnosili na kapacitet flote i zahtevanu potražnju za prevozom, da bi na odgovarajući način formulisali odluku koju treba da donesu menadžer ili operator. Patricksson i drugi (2015) su, za razliku od prethodnih istraživanja, koristili stohastičko programiranje u cilju procene nivoa emisije izduvnih gasova sa brodova u prekookeanskoj plovidbi. An i Lo (2014) su kreirali mrežu trajektnog prevoza u Luci Hong Kong i razmatrali su stohastičnost potražnje za prevozom.

U radu Wang i drugi (2013) je primenjeno stohastičko programiranje na primeru minimizacije ukupnih troškova kontejnerskog linijskog brodarstva i optimalnog uposlenja flote brodova uz neizvesnost potražnje za kontejnerskim prevozom. Mešovito celobrojno programiranje je korišćeno da bi se rešio ovaj problem. Kroz numerički primer je predstavljen i testiran odgovarajući algoritam. Ovo istraživanje je pokazalo da nivo opsluživanja značajno utiče na vrednost ukupnih troškova.

U poslednjim decenijama su kontejnerski linijski brodari veoma konkurentni, te stoga nastoje da obezbede efikasan prevoz krcateljima kako bi, pri tome, ostvarili što veću dobit. U tom smislu, problem adekvatnog uposlenja flote brodova jednog trajektnog brodarstva (eng. *liner ship fleet deployment* - LSFD) se odnosi na to da obezbedi odgovarajući brod ili flota brodova koja uz minimalne operativne troškove može realizovati potražnju za prevozom. Zbog toga je u ovom prevozu potrebno obezbediti što pouzdaniju informaciju o potražnji za prevozom da bi se rešio navedeni problem. Uobičajeno je u ranijoj literaturi da se primenjuju metode za procenu potražnje za kontejnerskim prevozom. To je u skladu sa realnom situacijom u brodarstvu, kada može doći do velikih pomeranja u potražnji za prevozom u odnosu na onaj procenjeni nivo, a takođe i do otkazivanja celokupnog zahteva. Kao rezultat toga, veoma je teško da se na precizan način definiše potražnja za prevozom. Sa druge strane, ukoliko se preceni potražnja i samim tim se obezbedi veći broj brodova koji se na kraju optimalno ne iskoriste, to može dovesti do finansijskog gubitka broderske kompanije. Ovi rizici koji dovode do neizvesnosti u potražnji za kontejnerskim prevozom nisu previše istraživani u literaturi. Obično se planiranje dodeljivanja optimalne veličine flote za realizaciju kontejnerskog ili nekog drugog prevoza morem definiše na godišnjem nivou i na taj način se brodar eventualno odluči na povećanje svojih prevoznih kapaciteta na pojedinim transportnim linijama (Wang i drugi , 2013).

Na bazi istraživanja obavljenog u Ng (2015), autor je u svom radu proširio analitičku metodologiju uvodeći nove modele koji čak zahtevaju manje ulaznih podataka. Tačnije, poznavanje srednje vrednosti i varijanse maksimalne potražnje za prevozom kontejnera predstavlja dovoljan ulazni podatak za definisanje pretpostavki modeliranja stohastičke potražnje za prevozom. Reč je o rezultatima koji su dobijeni analitičkim

putem tako da svoju primenu mogu imati i u praksi. Takođe, predstavljeni model daje bolje rezultate nego neki prethodni i to utiče na smanjenje ukupnih troškova kontejnerske flote brodova.

2.5. Navigacioni rizik i emisija izduvnih gasova sa brodova

2.5.1. Uloga navigacionog rizika u pomorskom transportu

U teritorijalnim vodama i lukama se realizuju različiti procesi pomorskog saobraćaja. Brodovi moraju poštovati pravila navigacije, a naročito u ograničenim plovnim područjima koji predstavljaju uske prolaze, tako da je neophodna bezbedna navigacija svih plovila, naročito u uskim priobalnim područjima. Nesrećni slučajevi kao posledice donošenja pogrešnih odluka na brodu su u velikoj meri razmatrani u svetskoj literaturi.

Fowler i Sorgard (2000) su procenili da se sudar brodova javlja kao rezultat *susreta* jednog broda sa drugim. Da bi se ovo izbeglo, brodovi mogu promeniti svoju brzinu i pretpostavljeni pravac kretanja kako bi se izbegla mogućnost sudara (Merrick i drugi, 2002). Sa druge strane, Hu i drugi (2010) su koristili AIS (eng. *Automatic Identification System* – automatski identifikacioni sistem) da bi odredili nivo zastoja pomorskog saobraćaja u vodama sa ograničenim prilazom. Njihovi rezultati su bili korisni za modeliranje pomorskog saobraćaja. Osnovnu ulogu kod modeliranja izbegavanja sudara na moru ima tzv. *područje broda* koje obuhvata raspoloživi prostor njegovog nesmetanog kretanja i bezbedne udaljenosti od drugih plovila.

U radu Fujii i Tanaka (1971), autori su obavili klasifikaciju oblika, numeričke i geometrijske karakteristike područja broda u koje spadaju: najbliža udaljenost sigurnog susreta; udaljenost prve akcije; udaljenost najbližih tačaka susreta i radijus područja u zavisnosti od toga da li se radi o susretu u uskim kanalima ili pak na otvorenom moru; relativna brzina pri susretu dva plovna objekta, da li jedan od njih miruje, zatim manevarske sposobnosti broda; dimenzije brodova koji se susreću, vidljivost; vetar itd.

Kvantitativna vrednost očekivanog navigacionog rizika predstavlja meru rizika. Među prvim istraživačima koji su koristili sistematične pristupe bazirane na rizičnim

dogadajima u odnosu na mogućnost sudara i nasukanja brodova su bili Fujii i drugi (1974) i MacDuff (1974). Tako je u svojoj studiji MacDuff (1974) ispitivao uzroke pomorskih nesreća u Doverskom moreuzu računajući teorijsku verovatnoću događaja koji su bili rezultat sudara ili nasukavanja. Danas su svi modeli koji ispituju ove događaje bazirani na istraživanjima koja su vodili Fujii i drugi (1974) i MacDuff (1974).

Pedersen i drugi (1996) su detaljno opisali procedure definisanja rizičnog događaja: prvo se specificira navigaciono područje koje se istražuje. To uključuje opis aktivnosti u odnosu na promet brodova duž svih navigacionih linija i blizinu područja obale. Sledeće je neophodno definisati broj brodova koji obavljaju operativne aktivnosti u odgovarajućem navigacionom području na specifičnoj ruti. Sva ostala plovila koja prilaze tom području su identifikovana i njihove verovatnoće sudara ili nasukavanja su računane. Zatim je primenjen adekvatan model i pristupa se eksperimentalnoj fazi i analizi osetljivosti samog sistema. Dobijeni rezultati se odnose na procenu navigacionog rizika u razmatranom području.

Pored niza prednosti koje se ogledaju kroz uvođenje u eksploataciju trajektne flote za prevoz putnika ili unapređenje postojećeg sistema prevoza putnika, u disertaciji je na specifičan način ukazano na mogućnost pojave navigacionog rizika naročito u trenucima povećane frekvencije prevoza putnika na primeru studije slučaja. Na taj način se kroz ostvarenje povećanja dobiti jednog operatora prevoza mora voditi računa i o bezbednosti same plovidbe.

2.5.2. Ocena emisije izduvnih gasova sa brodova

Jedna od najčešće istraživanih negativnih posledica uvođenja redovnog servisa u eksploataciju u poslednjim decenijama je i procena emisije izduvnih gasova sa putničkih brodova. S obzirom da je ova problematika izazvala veliku pažnju zbog svog direktnog uticaja na životnu sredinu, istraživači su do sada u svojim studijama predstavili veliki broj modela na osnovu kojih se vršila procena nivoa emisije izduvnih gasova, a naročito u naseljenim područjima koje karakteriše velika gustina pomorskog saobraćaja. Iz tog razloga su donesene mnoge direktive i protokoli o ograničenom emitovanju izduvnih gasova u pojedinim regionima koji su navedeni u okviru međunarodnog Aneksa VI

MARPOL konvencije 73/78 (1997) i na evropskom nivou u skladu sa odredbama Direktive 2012/33/EU (Annex VI of MARPOL 73/78, 2012).

Kada je u pitanju određivanje nivoa emisije izduvnih gasova, polazi se od navigacionih karakteristika plovnog područja, jer je sama metodologija bazirana na pregledu raznih faza kroz koje brod prolazi prilikom svakog uplovljenja, boravka i isplovljenja iz luke. Neka od značajnijih istraživanja su urađena u radu Saxe i Larsen (2004) na primeru za tri danske luke, Yang i drugi (2007) razmatrali su ovaj problem za Luku Šangaj, a De Meyer i drugi (2008) za četiri belgijske luke. Nešto kasnije, Deniz i drugi (2010) i Deniz i Kilic (2010) su računali emisiju izduvnih gasova sa brodova u Luci Ambarli. Hulskotte i Denier van der Gon (2010) su odredili stepen emisije izduvnih gasova na vezovima u Luci Rotterdam, a Yau i drugi (2012) i Ng i drugi (2013) su isto uradili za Luku Hong Kong, dok su Chang i drugi (2013) i Song i Shon (2014) razmatrali nivo emisije izduvnih gasova u korejskim lukama Inčeon i Busan.

Jedna od najznačajnijih studija u kojoj je modelirana šteta (negativni efekti, tzv. eksternalije) koju prouzrokuju brodovi, razvijena je u radu Tzannatos (2010a) na primeru putničke Luke Pirej. Sličnu metodologiju su koristili Chang i Wang (2012) koji su upoređivali tehno-ekonomsku efektivnost brodova koji su bili priključeni na izvor električne energije duž operativne obale i time ukazali na smanjenje nivoa emisije izduvnih gasova sa istih u Luci Kaosijung, dok su Berechman i Tseng (2012) ispitivali emisiju i štetu kao posledicu izduvnih gasova sa brodova i drumskih tegljača u istoj luci. Istraživanja novijeg datuma su takođe bila bazirana na pristupu emisije izduvnih gasova koja se oslanja na različite aktivnosti broda, i to od strane sledećih autora: McArthur i Osland (2013), Castells Sanabra i drugi (2014), Song (2014) i Tichavska i Tovar (2015a,b). Uzimajući u obzir putničke luke, emisija izduvnih gasova sa brodova je u poslednjim godinama privukla veliku pažnju javnosti i istraživača. Računanje emisije na primeru pet vodećih grčkih luka je obrađena u radu Maragkogianni i Papaefthimiou (2015), dok su u radu Tichavska i Tovar-a (2015b) autori merili nivo zagađenja vazduha u Luci Las Palmas. Poplawski i drugi (2011) su elaborirali uticaj brodova u Luci Viktorija u Kanadi, dok je u svojim radovima Tzannatos (2010a,b) merio nivo emisije i procenjivao odgovarajuće troškove (eksternalije) u Luci Pirej.

Razmatrajući merenje emisije izduvnih gasova sa trajektnih brodova, ovde se ističu procene i istraživanja koja su vodili: Cooper (2001), Corbett i Farrell (2002) i Winebrake i drugi (2005). Cooper i Andreasson (1999) su koristili specijalni monitoring sistem pod nazivom PEMS uz pomoć kojeg su određivali nivo azotnog oksida (NO_x) na putničkim trajektnim brodovima. Analiza je urađena na nekoliko primera i pokazala je da PEMS može biti dobra opcija za kontinualno merenje nivoa NO_x na putničkim trajektnim brodovima. Slično ovome, a razmatrajući učinke tri brza putnička trajektna broda, Cooper (2001) je dokazao da je nivo sumpor dioksida (SO_2) za sve brodove bio nizak zahvaljujući gorivu kojeg su koristili brodovi u plovidbi i koje je sadržalo relativno nizak nivo sumpora.

Emisiju izduvnih gasova sa brodova koji se opslužuju duž operativne obale u luci je u svom radu istražio Cooper (2003). Corbett i Farrell (2002) su predstavili strategije za ublažavanje zagađivanja vazduha sa putničkih brodova u San Francisku. Svoju analizu su opravdali kroz predstavljanje alternative za minimizaciju emisije izduvnih gasova kako bi bile konkurentne emisiji koju proizvode automobili u razmatranom području. Konačno, Winebrake i drugi (2005) su primenili mešovito celobrojno nelinearno programiranje na primeru luka Njujork i Nju Džersi na promet koji se ostvaruje putničkim trajektnim brodovima. Posebnu pažnju su poklonili određivanju nivoa NO_x i čestica (eng. *Particulate matter* - PM). Autori su predstavili tehnička rešenja za smanjenje emisije štetnih gasova sa putničkih trajektnih brodova. Proračun nivoa emisije ugljen-dioksida na primeru ostrvskog trajektnog servisa je predstavljen u radu Baird i Pedersen (2013).

Shodno teorijskom doprinosu, primenljivost istraživanja u disertaciji će se sagledati kroz:

- dimenzionisanje trajektne flote brodova prema transportnim zahtevima,
- efikasnost raspoređivanja brodova po trajektnim linijama i finansijsku dobit,
- procenu očekivanih vrednosti navigacionog rizika u fazama povećanog intenziteta plovidbe brodova,
- proračun emisije izduvnih gasova sa brodova i predlog scenarija za njihovu minimizaciju u cilju primene koncepta ekološki održivog razvoja u putničkim lukama.

3. RAZVOJ TRAJEKTNOG PREVOZA PUTNIKA

3.1. Opšta razmatranja

Izgradnja prvog trajektnog broda datira još od 1850. godine kada je dizajniran pionirski Ro-Ro brod (eng. *Roll on/Roll off* – brod za prevoz putnika i različitih vrsta tereta na kojima se operacije prekrcanja obavljaju po sistemu ukotrljaj/iskotrljaj, na osnovu kojeg su i dobili naziv) pod imenom *Leviathan* u Škotskoj koji je saobraćao na plovidbenim linijama od Edinburga do južnih destinacija ovog regiona. U to vreme je izgradnja ovakvog broda smatrana kao inovativna i brod je mogao da transportuje velike količine tereta. Kasnije su trajektni brodovi za prevoz vagona uveli pojam multimodalnog transporta u železničkom sektoru (Brambilla i Martino, 2016).

Kao što je poznato u literaturi, osnovni deo pomorske privrede koji proizvodi i prodaje pomorske prevozne usluge za teret i putnike uz pomoć brodova naziva se pomorsko brodarstvo. Brodar predstavlja organizaciju koja je definisana kao osnovna celina pomorskog brodarstva, a u slučajevima da brodar realizuje i prevozne operacije brodovima, onda on postaje i brodski operator (Jansson i Shneerson, 1987; Radmilović i Dragović, 2009). Osnovna podela brodarstva u odnosu na vrstu prevoza podrazumeva teretno i putničko brodarstvo (Radmilović, 1976). Putničko brodarstvo je u velikoj meri danas prepoznato po kružnim putovanjima morem i trajektnom prevozu putnika. Kako je industrija kružnih putovanja morem u konstantnom porastu i sve više destinacija je uključeno u realizaciji navedenih putovanja, tako je i promet putnika trajektnim brodovima od velike važnosti za povezivanje luka kratke obalne plovidbe (eng. *Short Sea Shipping*) i regiona koji su prepoznati kao dobri primeri realizacije ovog vida transporta. Za trajektni prevoz putnika, u upotrebi su različite vrste brodova. Pre svega, u zavisnosti od funkcije koju obavljaju, ovi brodovi mogu služiti za prevoz tereta, putnika, a u upotrebi su i kombinovani trajektni brodovi, Ro-Ro brodovi za prevoz tereta na točkovima, brodovi za prevoz automobila, brodovi za taksi prevoz na kratkim trajektnim linijama, razvozni (eng. *feeder*) trajektni brodovi i ostali. Sa druge strane, iako su neki primeri pojavljivanja brodova za prevoz automobila (eng. *car ferries*) datirali još iz prve polovine

dvadesetog veka, njihova konkretna eksploatacija je zabeležena tek posle Drugog svetskog rata. Nakon toga je započela i era intenzivnijih međunarodnih putovanja pomorskim putem, tako da je trajektna industrija beležila značajan uspeh. Situacija u trajektnom brodarstvu u prethodnih deset godina beleži trend poboljšanja dizajna flote, dok su trajektni brodovi za krstarenja sa kabinama postali deo prošlosti. U 2013. godini je ukupan broj putnika koji je transportovan u lukama Evropske unije (EU) dostigao neverovatnu brojku od 400 miliona, tako da je posmatrajući statističke podatke u prethodnom periodu, razlika u prometu iz godine u godinu zanemarljiva (Eurostat, 2015). Promet putnika u državama članicama Evropske unije je uglavnom bio na nacionalnom nivou, tačnije 58% ovog prevoza je obavljeno između luka iste države (kabotaža) (Eurostat, 2015). Pod tim se podrazumeva pomorski prevoz putnika i tereta između dve luke koje se nalaze u okviru iste države bez obzira na to gde je brod registrovan. Kabotaža podrazumeva sve brodarske operacije u nacionalnim okvirima, nacionalnu trgovinu, kao i operacije koje se odnose na pretovar, linijsko i slobodno brodarstvo.

U studiji Brambilla i Martino (2016), analizirane su specifičnosti trajektnog brodarstva u okviru zemalja Evropske unije, oslanjajući se na zaštitu životne sredine, sigurnost i bezbednost prevoza, kao i buduće trendove razvoja istog. Ovde su obrađene i tehnološke mere koje se moraju preduzeti u cilju smanjenja zagušenja na drumskim saobraćajnicama i obezbeđenja efikasnosti infrastrukturnih rešenja i servisa. Navedeno istraživanje ukazuje na važnost pomorskog prevoza putnika u nacionalnim i okvirima Evropske unije i ono se uglavnom može svesti na tri regiona: Baltičko more, Severno more i Sredozemno more. Trajektne linije su uglavnom već dugi niz godina unazad održive sa veoma malim brojem promena, od kojih više od 50% pripada regionu Sredozemlja čija flota (broj brodova i njihova nosivost) premašuje ukupan broj brodova koji saobraćaju u ostala dva regiona. Kako istraživanja pokazuju, brodovi u izgradnji su nosioci inoviranih tehničkih rešenja, dok je upotreba polovnih i unajmljenih brodova u realizaciji trajektnog prevoza u padu.

Može se reći da ovaj vid brodarstva konstantno prolazi kroz razvojne faze i konsolidovaniji režim od 2000. godine. Pod tim se podrazumeva usaglašavanje i zadovoljenje svih uslova za kontrolu emisije izduvnih gasova sa brodova (eng. *Emission*

Control Areas - ECAs), uvođenje bescarinskog režima, stalno nadmetanje sa ponudama prevoza niskobudžetnih avionskih kompanija, kao i brz porast cena goriva koje su značajno uticale na celokupnu privredu. Danas, učinci koji oslikavaju poslovanje operatora u trajektnom prevozu predstavljaju ogledalo ekonomije jedne države, a naročito regiona. U tom kontekstu, ukoliko je ekonomija jedne zemlje na putu za oporavak, onda će i operatori ovog prevoza beležiti dobre rezultate, ali ukoliko ekonomija stagnira, onda će i operatori postati inertni u svom poslovanju. Uopšteno govoreći, operatori su skoncentrisali svoje aktivnosti u okviru jednog regiona i na taj način su optimizovali eksploataciju svoje flote primenjujući koncept tzv. *ekonomije obima*. Ovakvo tumačenje potvrđuje i činjenica da su operatori u velikoj meri skratili dužinu trajektnih linija plovidbi, a takođe i redukovali veličinu flote brodova (broj i kapacitet) i na taj način potvrdili da je trajektna industrija fleksibilna i sklona da svoj potencijal prilagođava negativnim ili pozitivnim tendencijama u potražnji za prevozom (Brambilla i Martino, 2016).

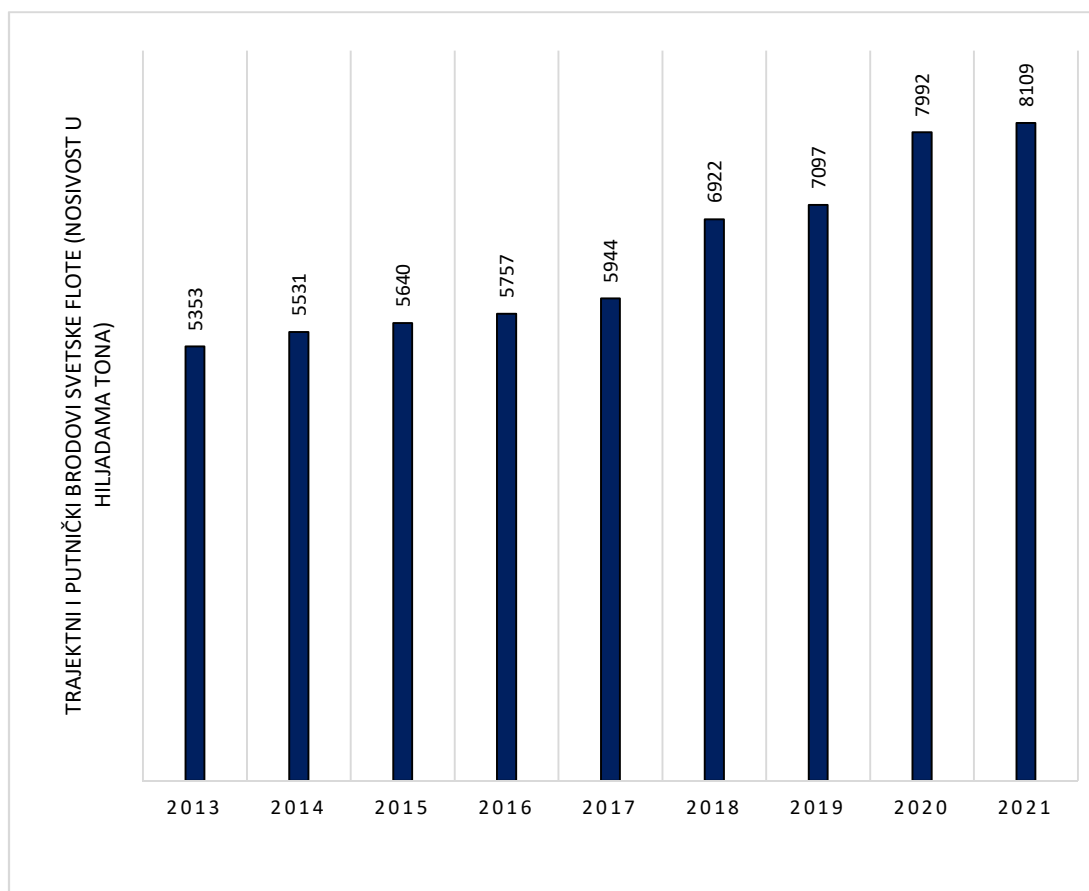
Uprkos tome što su zemlje na istočnoj obali azijskog kontinenta (Republika Koreja, Japan i Kina) dominantne kada je u pitanju izgradnja putničkih trajektnih brodova, ipak je tržište Evropske unije jedinstveno kada je u pitanju održavanje tehnološkog nivoa. Evropska brodogradilišta su usko specijalizovana za visok kvalitet i sofisticirana tehnička rešenja. Kompetitivnost njihovih rešenja se ogleda i u zadovoljenju standarda podneblja koja su pod kontrolom emisije izduvnih gasova sa brodova, a takođe i smanjenog delovanja ugljen dioksida i efekta staklene bašte (eng. *Greenhouse Gas Emisison*). Još jedan od izazova kada je u pitanju trajektno brodarstvo, odnosi se na alternativne pogonske sisteme, za koje se predviđa da će zameniti upotrebu klasičnog goriva naročito na linijama kratke obalne plovidbe. Ovo podrazumeva upotrebu metanola, hibridnih i električnih brodova, ali je za navedeno potrebno više stručnih istraživanja iz kojih će se dobiti realni rezultati u budućnosti. Konkretno, jedna od opcija u cilju smanjenja emisije izduvnih gasova i buke sa brodova je snabdevanje istih električnom energijom sa obale, naročito u naseljenim područjima. Očekuje se da će usvajanje Konvencije o upravljanju balastnim vodama (eng. *Ballast Water Management Convention*) uticati na veću

potražnju za sistemima tretiranja voda i inovativnim konceptom koji je poznat pod nazivom *ballast-free-ship* (European Commission, 2011, 2013; BALance, 2015).

3.2. Flota za trajektni prevoz putnika

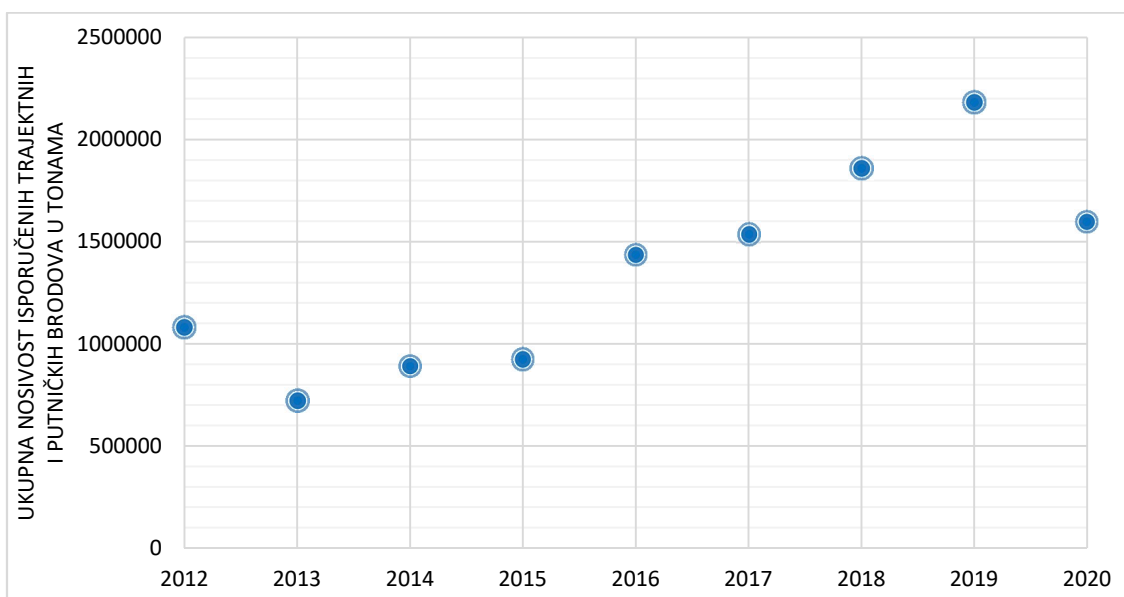
Za razliku od teretnog brodarstva, putničko brodarstvo pruža usluge prevoza putnika odgovarajućim brodovima koji su opremljeni za prevoz na kraćim ili dužim rastojanjima koje se nazivaju pomorske (plovidbene) linije. Organizacija ove vrste brodarstva zavisi od niza kriterijuma koji se moraju zadovoljiti da bi se celokupan prevoz organizovao na optimalan način. Tu se, pre svega, misli na: tip pružanja usluga, nivo geografske pokrivenosti, potražnju za prevozom, raspoloživost flote za prevoz, dodeljivanje broda transportnim zadacima, tip pomorskih linija, status broskog operatora, vrsta naručene transportne usluge itd (Radmilović i Dragović, 2009). Flota za trajektni prevoz je prvenstveno služila za transport putnika i tereta, a kasnije se izdiferencirala i u statističkim analizama se posmatra kao odvojena celina. Brodovi koji obuhvataju flotu za trajektni prevoz putnika pripadaju kategoriji Ro-Ro brodova, tako da postoje različiti izvedbeni oblici koji se danas susreću u eksploataciji. Trajektni brodovi se koriste za regionalni putnički saobraćaj uz pomoć kojih se realizuje prevoz na regionalnom i lokalnom nivou. Bez obzira na njihov značaj, udeo u ukupnoj nosivosti je veoma mali i iznosi svega 1% (Radmilović i Dragović, 2009).

Između 1. januara 2020. i 1. januara 2021. godine, svetska trgovačka flota je zabeležila nizak rast od 3% brojeći 99800 brodova sa ukupnom nosivošću (eng. *Deadweight tonnage* - dwt) od 2.13 milijardi tona. Pored brodova za prevoz gasa i kontejnerske flote koji su zabeležili porast od, redom, 5.12% i 2.48%, sledi trajektna i putnička flota sa 1.46% porasta u odnosu na prethodnu godinu. Na slici 3.1 je prikazana ukupna nosivost svetske trajektne i putničke flote u periodu od 2013. do 2021. godine izražena u hiljadama tona, na osnovu koje se može videti značajan godišnji rast (UNCTAD, 2013-2017, 2021). S obzirom na potražnju za prevozom na trajektnim linijama u svetu, sve više se povećava narudžbina ovih brodova za regionalni i lokalni prevoz putnika, tako da je na slici 3.2 prikazana ukupna nosivost u tonama isporučenih brodova trajektne i putničke flote od 2012. do 2020. godine.



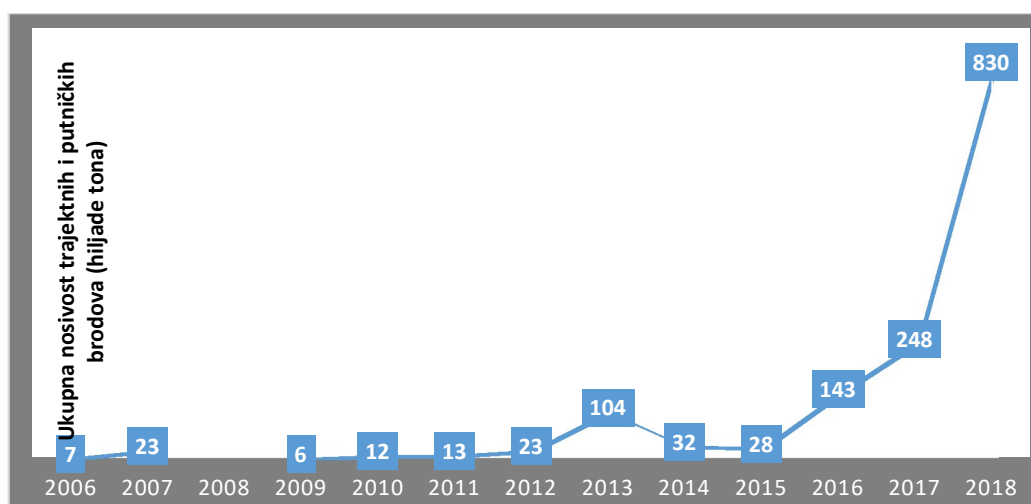
Slika 3.1. Ukupna nosivost svetske trajektne i putničke flote od 2013. do 2021. godine (u hiljadama tona); izvor: UNCTAD (2013-2017, 2021)

Pored pada u isporuci koji je zabeležen u 2013. i 2020. godini (usled COVID-19 krize u 2020. godini), beleži se nagli porast isporučenih brodova u 2016. i 2019. godini (UNCTAD 2013-2017, 2021). Da bi se zadovoljili standardi i znatno smanjili negativni efekti na životnu sredinu kao rezultat realizacije plovidbe brodova trajektnog prevoza putnika, na slici 3.3 je prikazan pokazatelj koji se odnosi na ukupnu nosivost brodova u hiljadama tona trajektne i putničke flote koji raspolažu pogonom na tečni prirodni gas (eng. *Liquid Natural Gas* - LNG). Trend konstantnog povećanja brodova sa ovom vrstom pogona u eksploataciji je evidentan u periodu od 2006. do 2018. godine tako da su oni sve više u upotrebi na svetskim trajektnim linijama (UNCTAD 2017).

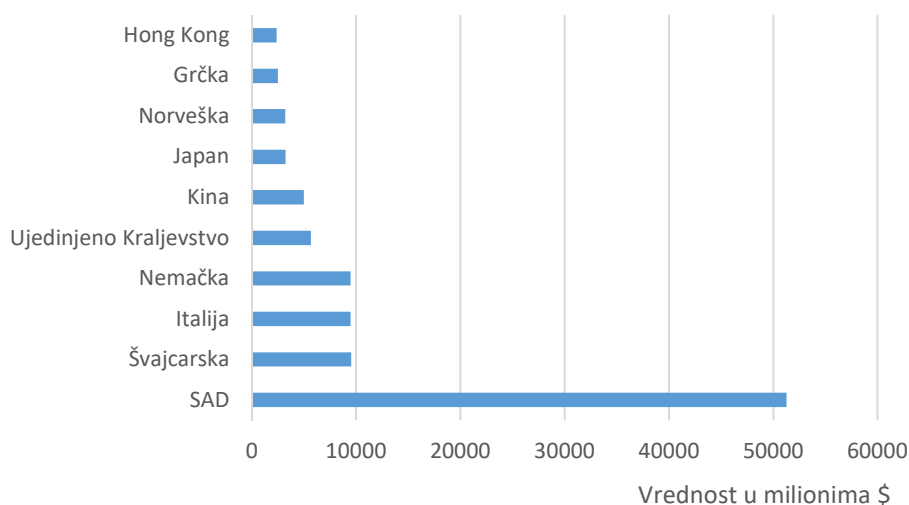


Slika 3.2. Ukupna nosivost isporučenih brodova trajektne i putničke flote od 2012. do 2020. godine u tonama; izvor: UNCTAD (2013-2017, 2021)

Na slici 3.4 je prikazano 10 najvećih svjetskih ekonomija koje poseduju brodove za trajektni i ostali putnički prevoz na dan 1. januar 2021. godine izražene u milionima američkih dolara. Kao što se može primetiti, šest država je iz Evrope što ukazuje da su u velikoj meri dominantni regioni za prevoz putnika Sredozemno i Severno more.



Slika 3.3. Ukupna nosivost brodova trajektne i putničke flote sa LNG pogonom od 2006. do 2018. godine (u hiljadama tona); izvor: UNCTAD (2017)



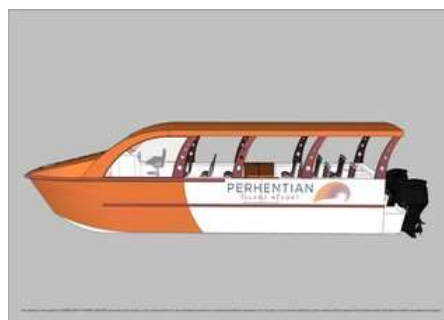
Slika 3.4. 10 najvećih ekonomija koje poseduju trajektne i ostale brodove za prevoz putnika, na dan 1. januar 2021. godine (milioni \$), prilagođeno prema: UNCTAD (2021)

3.2.1. Trajektni brodovi za prevoz putnika: ilustrativni prikaz

Pored trajektnih brodova koji datiraju iz ranog perioda prošlog veka i koji se još uvek nalaze u eksploataciji zahvaljujući svojoj atraktivnosti i u cilju očuvanja tradicije, na slikama 3.5-3.8 su prikazani savremeni primeri ovih brodova sa različitim prevoznim kapacitetima putnika koji se mogu koristiti za lokalni i regionalni prevoz.

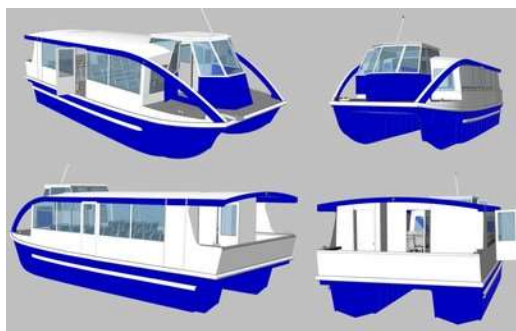


Naziv broda: *Centurion 46 Fast Ferry*
Dužina: 14 m
Širina: 3.8 m
Kapacitet putnika: 12
Broj članova posade: 2
Maksimalna brzina broda: 30 čvorova

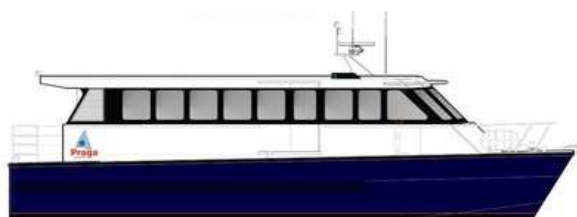


Naziv broda: *10500 Resort Shuttle*
Dužina: 10.5 m
Širina: -
Kapacitet putnika: 24
Broj članova posade: -
Maksimalna brzina broda: -

Slika 3.5. Trajektni brodovi za prevoz putnika: prevozni kapacitet 12 i 24 putnika (<http://www.seaboats.net/>)

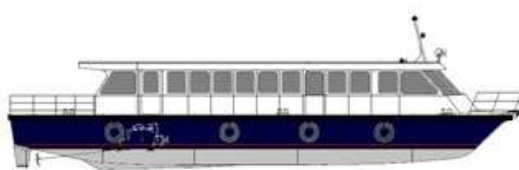


Naziv broda: *46 Pax Aluminium Passenger Cat*
Dužina: 12.72 m
Širina: 5 m
Kapacitet putnika: 46
Broj članova posade: -
Servisna brzina broda: 18 čvorova



Naziv broda: *60 Pax Ferry*
Dužina: 15 m
Širina: 5.4 m
Kapacitet putnika: 60
Broj članova posade: -
Servisna brzina broda: -

Slika 3.6. Trajektni brodovi za prevoz putnika: prevozni kapacitet 46 i 60 putnika
(<http://www.seaboats.net>)

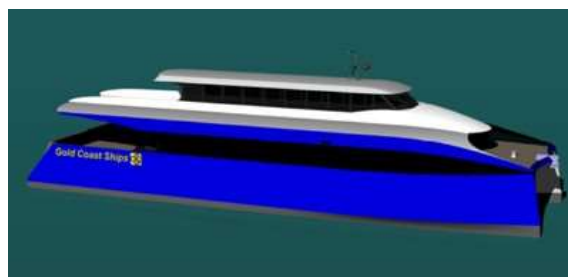


Naziv broda: *100 Passenger Cat*
Dužina: 20 m
Širina: 7 m
Kapacitet putnika: 100
Broj članova posade: -
Servisna brzina broda: -



Naziv broda: *Coastal Ropax Ferry*
Dužina: 35.7 m
Širina: 9.5 m
Kapacitet putnika: 175
Broj članova posade: -
Maksimalna brzina broda: 26 čvorova

Slika 3.7. Trajektni brodovi za prevoz putnika: prevozni kapacitet 100 i 175 putnika
(<http://www.seaboats.net>)



Naziv broda: 30m Wave Piercer Passenger Vessel

Dužina: 30.8 m

Širina: 9.6 m

Kapacitet putnika: 250+

Broj članova posade: -

Servisna brzina broda: 28 čvorova

Naziv broda: 300 PAX Offshore Passenger Cat

Dužina: 28 m

Širina: 8.8 m

Kapacitet putnika: 300

Broj članova posade: -

Servisna brzina broda: 28 čvorova

Slika 3.8. Trajektni brodovi za prevoz putnika: prevozni kapacitet 250 i 300 putnika (<http://www.seaboats.net>)

3.3. Razvoj trajektnih linija

U dosadašnjim studijama, trajektni prevoz je istraživao na postojećim lokacijama gdje je dominantan takav način transporta putnika i tereta, a ujedno služi i kao alternativni vid prevoza, koji je brži i omogućava kraće vreme putovanja. Ovo je ujedno i vrsta transporta kod koje se ne mora brinuti o zagušenju i stvaranju *uskih grla* na trajektnim linijama. Iz tog razloga se omogućava putnicima da izbegnu dodatna zadržavanja na drumskim saobraćajnicama i da izaberu trajektni prevoz do željene destinacije (slika 3.9). Prema analizi predstavljenoj u Ceder i Varghese (2011), za uvođenje trajektnog servisa u eksploataciju je potrebno razmotriti i dodatne faktore. Oni se odnose na visinu prevoza, socio-ekonomsku statističku analizu razmatranog područja, postojanje operatora prevoza itd. Nekada se uspostavljanje trajektnih linija može smatrati i političkim izborom ili razmatrati ukoliko se očekuje povećanje naseljenosti stanovništva. Takođe, detaljna ekonomska održivost samog projekta mora biti opravdana pre nego što se započne sa investicijama. Ovo uključuje detaljnu procenu potražnje za prevozom, određivanje cene prevoza, evaluaciju očekivanih operativnih troškova i kapitalnih investicija.



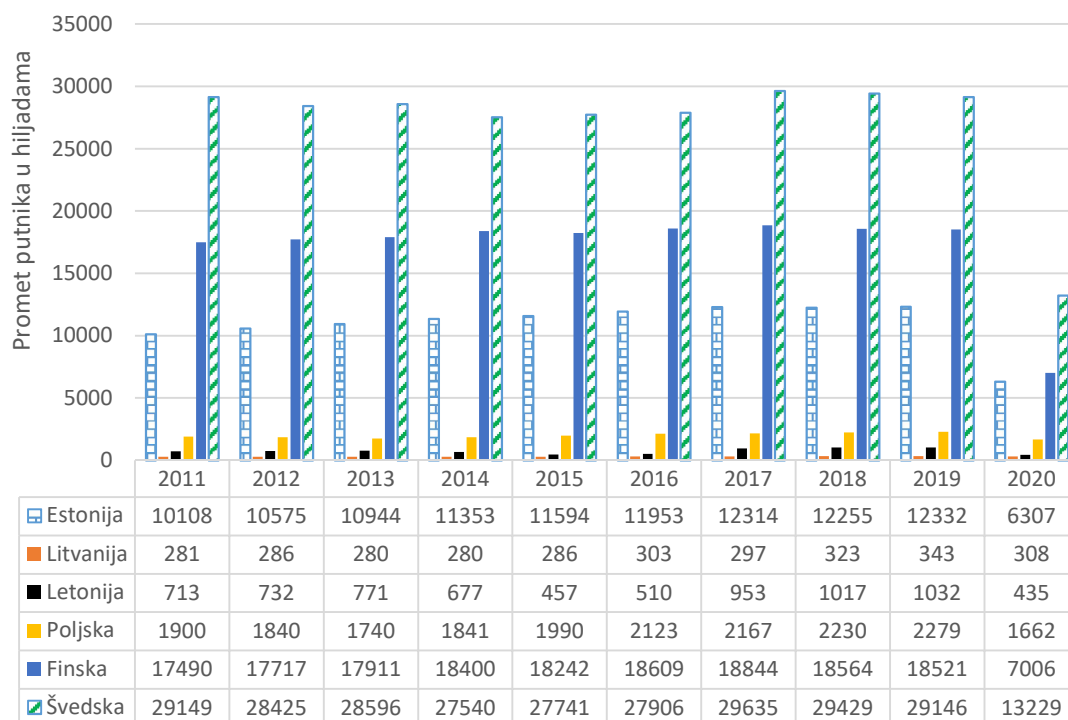
Slika 3.9. Prednosti uvođenja trajektnog servisa
(RECIA, 2014)

Trajektni prevoz se može relativno brzo uvesti uz odgovarajuće investicije počevši od lučke infrastrukture, kako bi se obezbedio siguran prekrcaj tereta i putnika. Na slici 3.9 su prikazane prednosti uvođenja trajektnog servisa na regionalnom ili lokalnom nivou. Ovde se u prvom planu misli na četiri važne celine iz kojih proističe nesmetano obavljanje ovog prevoza i one su prepoznate po veoma jednostavnom povezivanju destinacija, na čijim trajektnim linijama saobraćaju relativno brzi brodovi koji se kratko zadržavaju u lukama i ujedno obavljaju visoku frekvenciju prevoza. Ovaj servis proizvodi niske lučke troškove i ne zahteva velika ulaganja u lučku infrastrukturu, zato što je i potreba za prekrcajnim sistemima svedena na minimum (ovde se pre svega misli na prekrcajne rampe, navoze i prolaze za putnike). Iz navedenog se može zaključiti da je reč o veoma fleksibilnom prekrcaju tereta i putnika sa jedne strane, dok sa druge strane proizilazi da se ovim prevozom obezbeđuje siguran i pouzdan transport koji obezbeđuje nizak nivo rizika u realizaciji prekrcajnih operacija.

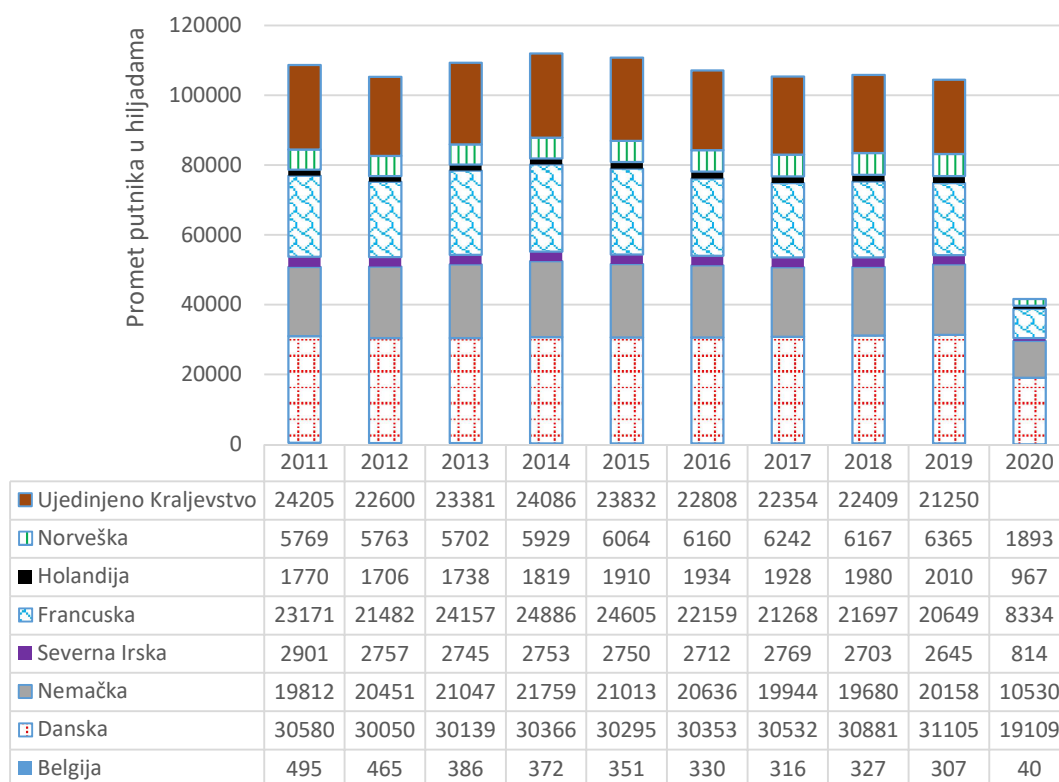
Sa ekonomskog stanovišta, polazi se od finansijske opravdanosti uvođenja trajektnog prevoza, istraživanjem svih prednosti i nedostataka samog projekta. Ukoliko je reč o javnom prevozu, onda je neophodno obezbediti minimalni nivo prevoza u društvene svrhe, iako taj isti servis nema komercijalnu važnost i zahteva od države određene subvencije. Javni servis mora da obezbedi operatora koji će predložiti kontinuirani prevoz na trajektnim linijama u cilju ostvarenja efikasnosti poslovanja sa najnižim nivoom subvencija, a ujedno i garantovati kvalitetan i održiv sistem prevoza.

Formiranje trajektnog prevoza u Evropi je nastao iz analize trenutnih praksi u pojedinim državama u kojima je ovaj vid prevoza tereta i putnika u velikoj meri razvijen (Grčka, Švedska, Francuska, Danska, Italija, Španija i dr.). Međutim, stalno se teži unapređenju ovog vida prevoza kroz različite oblike projekata koje vode nacionalne vladine agencije, dok one koje su razvijene na manjem geografskom i nacionalnom nivou rešavaju lokalne vlasti ili regionalni saobraćajni sektor. Jedna od bitnih činjenica u celoj ovoj priči se odnosi na definisanje kriterijuma za selekciju operatora koji će povećati kvalitet prevoza, zadovoljiti standarde zaštite životne sredine, a takođe i predložiti optimalnu cenu prevoza (sa određenim povlasticama). Međutim, prethodnih nekoliko decenija postoji trend privatnog vlasništva operatora koji značajno ulažu u održavanje glavnih trajektnih servisa sa značajnijom ulogom međunarodnih transportnih organizacija. Nabavka brodova za realizaciju ovih prevoza ne obuhvata kontinuirani proces da bi se zadovoljila potražnja za prevozom (Baird i Wilmsmeier, 2011).

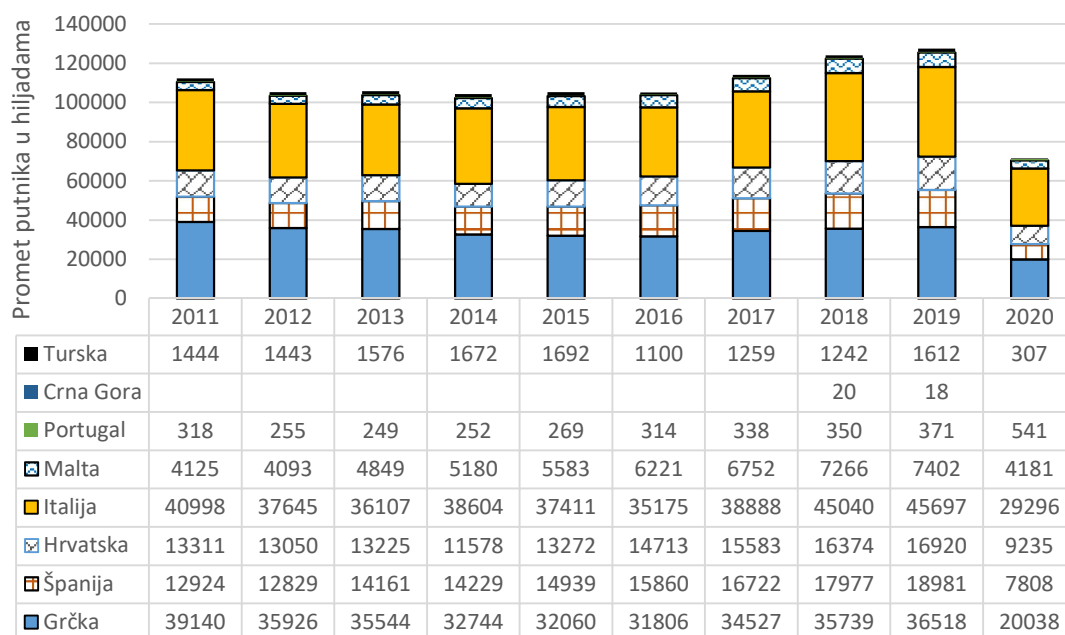
Danas u Evropi postoje tri dominantna regiona za trajektni prevoz i to su: Baltičko i Severno more i Sredozemlje. Na slici 3.10 je prikazan promet putnika (u hiljadama) u periodu od 2011. do 2020. godine. U Sredozemlju se realizuje najveći deo trajektnog prevoza, iako se dogodio pad u 2020. godini usled COVID-19 krize. Isto se odnosi i na drastičan pad u prometu putnika u ovoj godini kada su u pitanju regioni Baltika i Severnog mora. Kada je reč o desetogodišnjem periodu u regionu Baltika, najveći promet putnika je ostvaren na plovodbenim linijama u Švedskoj, a najmanji u Litvaniji; u Severnom moru prednjači Danska sa najvećim prometom putnika, dok je Belgija zabeležila najniži promet; u Mediteranu su Italija i Crna Gora imale, redom, najveći i najmanji promet putnika, iako nedostaju relevantni podaci za Crnu Goru za osam godina (Eurostat, 2021).



a) Promet putnika u državama Baltika



b) Promet putnika u državama Severnog mora

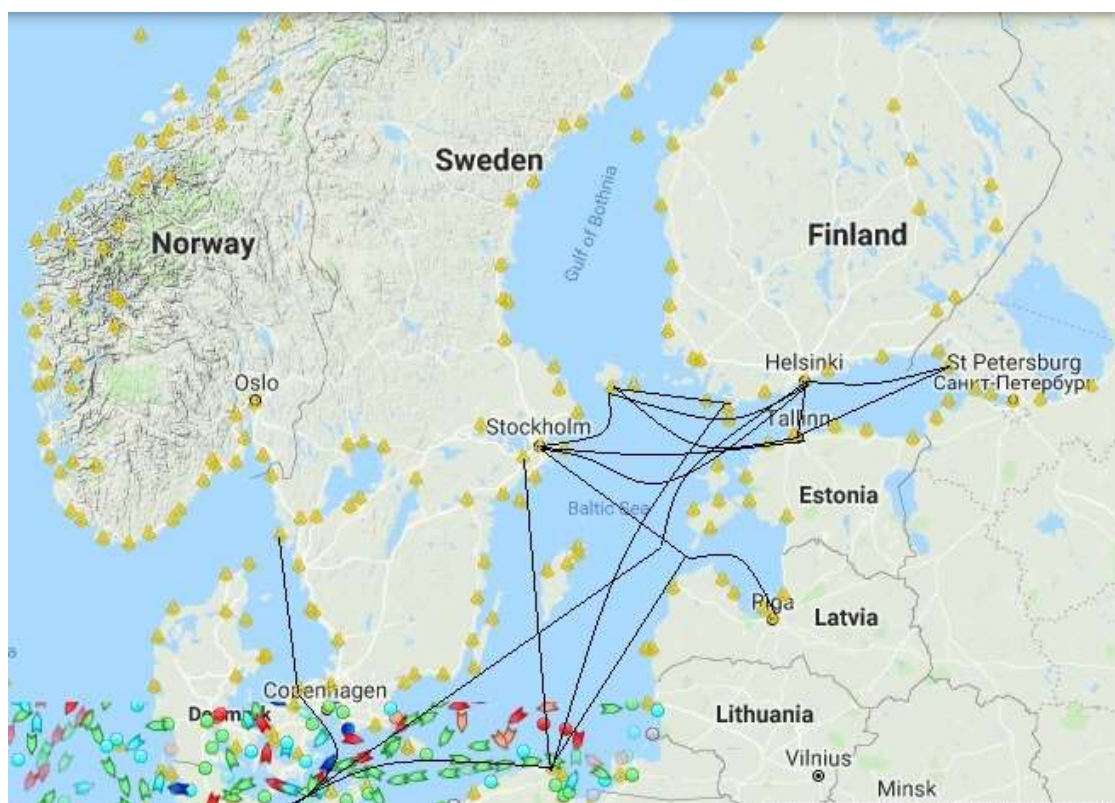


c) Promet putnika u državama Sredozemnog mora

Slika 3.10. Promet putnika na trajektnim linijama Baltika, Severnog mora i Sredozemlja od 2011. do 2020. godine (Eurostat, 2021)

Krajem prethodnog veka, primetan je porast korišćenja trajektnog prevoza putnika i tereta na teritoriji evropskog kontinenta. Iako su već postojale odgovarajuće linije od Nemačke ili Holandije do Ruske Federacije drumskim i železničkim prevozom, trajektni pomorski prevoz se smatrao veoma prikladnim, opravdanim i efikasnim. Bez obzira na povećanje kapaciteta postojećeg servisa na relaciji istok-zapad, razvile su se trajektno linije od Libeka, Kila i Rostoka u Nemačkoj do svih zemalja u Baltiku uključujući i Luku Sankt Peterburg (Brambilla i Martino, 2016).

Još jedna značajna linija je uvedena i to od Stokholma i Karlshamna u Švedskoj do Rige, Talina, Klajpede, Lijepaje, Ventspilsa na istočnoj strani ovog regiona. Neke od važnih trajektnih linija danas u regionu Baltičkog mora su prikazane na slici 3.11.



Slika 3.11. Neke od važnih trajektnih linija u regionu Baltika i šire
(prilagođeno prema: <http://www.marinetraffic.com>)

U Severnoj Evropi, a prvenstveno u regionu Baltičkog mora, pomorska industrija je doživela procvat uvođenjem brzih, fleksibilnih i pouzdanih brodova u eksploataciju. Iako su devedesetih godina prošlog veka postojala izvesna ograničenja u razmeni roba između zapadnih evropskih država i bivšeg SSSR-a, postojale su glavne rute trajektnog servisa od Zapadne Nemačke do Danske, Švedske, Norveške i Finske. Isto tako, Istočna Nemačka i Poljska su bile povezane ovim vidom prevoza sa Švedskom, Estonijom, Letonijom, Litvanijom i Finskom. Tako je većina trajektnih linija saobraćala na relaciji sever-jug, dok su linije koje su povezivale zapad i istok imale manju važnost i na njima su saobraćali konvencionalni brodovi (RECIA, 2014).

Na osnovu ovoga se može zaključiti da je postojanje trajektnog prevoza sinonim za fleksibilan, efikasan i konkurentan vid prevoza. Ovo se ne odnosi samo na kratku obalnu plovību, već i na transportne koridore gde je moguća implementacija drumskog i železničkog prevoza, ali je ona često sprečena nedostatkom adekvatne infrastrukture ili

nedostatkom jasno definisanog regulatornog okvira. Konačno, sa ekonomskog stanovišta, ovakav vid servisa bi trebalo svugde subvencionirati, tačnije pružiti podrška operatoru trajektnog prevoza na lokalnom i regionalnom nivou naročito ukoliko nema finansijske održivosti, javnog učešća i obaveza javnog sektora. S obzirom da se u ovoj disertaciji istražuje dimenzionisanje flote za trajektni prevoz na regionalnom i lokalnom nivou, u nastavku teksta će biti reči samo o prevozu putnika, dok će trajektni prevoz tereta biti predmet nekog drugog istraživanja.

Najvažnije trajektne linije u regionu Severnog mora su prikazane na slici 3.12. One povezuju nekoliko država, a svakako je najbitnije pomorsko povezivanje sa Ujedinjenim Kraljevstvom. Implementacija trajektnog servisa u određenim područjima mora zadovoljiti odgovarajuće potrebe korisnika.



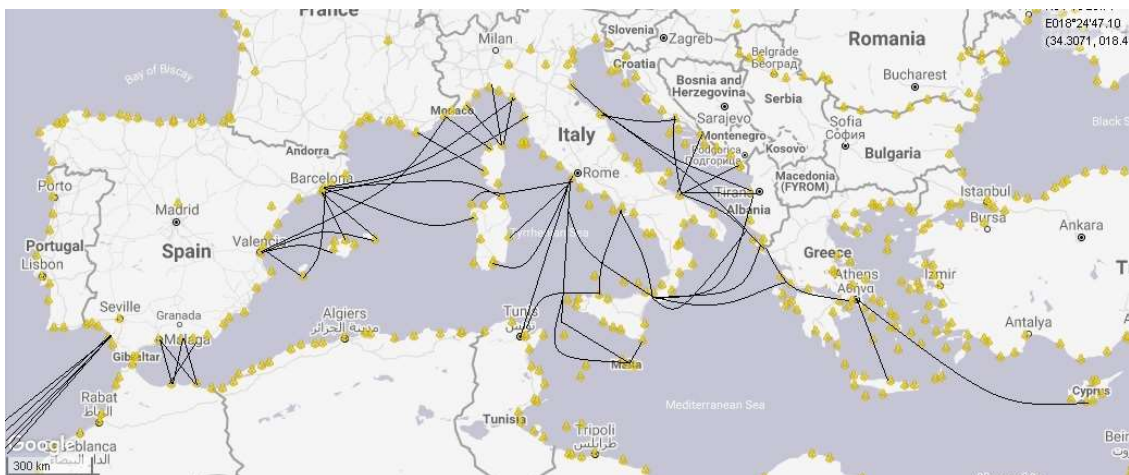
Slika 3.12. Najvažnije trajektne linije u regionu Severnog mora
(prilagođeno prema: <http://www.marinetraffic.com>)

Potrebe korisnika uključuju različite aspekte svakodnevnog života, a najčešći razlog putovanja je zbog odlaska na posao. S tog stanovišta je neophodno posmatrati mobilnost ljudi, a takođe i prouzrokovane efekte koji utiču na zajednicu kao celinu. Takav je slučaj i sa navedenim regionom čije su trajektne linije, za razliku od onih u Baltičkom

i Sredozemnom moru, manje valorizovane, ali i dalje održive. Iz tog razloga, mnoge mere reflektuju stvari koje su važne korisnicima prevoza, a koje nisu direktno prepoznate od strane putnika na individualnom nivou.

Trajektni prevoz putnika igra veoma važnu ulogu u urbanim transportnim sistemima. Uz pomoć ove transportne grane, moguće je savladati barijere koje su proistekle iz nemogućnosti realizacije alternativnog vida prevoza, ili ne raspoložu odgovarajućom infrastrukturom za prihvat plovila. Sa druge strane, uz pomoć postojećih trajektnih linija moguće je ostvariti direktan pristup udaljenim područjima zahvaljujući kojima dolazi do smanjenja vremena putovanja koje bi, u suprotnom, bilo dodatno uvećano kao rezultat korišćenja više vidova prevoza.

U Sredozemlju je operativan veliki broj trajektnih linija koje povezuju različite države, a takođe funkcionišu i u okvirima pojedinih država gde je istaknuta potreba za ovom vrstom prevoza. Na slici 3.13 su prikazane neke od trajektnih linija kojima su povezane pojedine države. Ono što je važno istaći, odnosi se na kategorizaciju postojećih trajektnih linija u ovom delu Evrope, koje mogu biti klasifikovane kao: domaće, nove linije u EU, trajektno linije koje su u okviru unije, linije koje pripadaju državama članica EU, linije između država članica EU i onih koje to nisu i linije van okvira unije. Njihova procentualna zastupljenost je prikazana u tabeli 3.1 (Brambilla i Martino, 2016).



Slika 3.13. Najvažnije trajektno linije u regionu Sredozemlja
(prilagođeno prema: <https://www.marinetraffic.com>)

Tabela 3.1. Procentualno učešće postojećih trajektnih linija u Sredozemlju (prilagođeno prema: Brambilla i Martino (2016))

	Domaće ¹	Novе linije u EU ²	Linije u okviru EU ³	Linije u EU susednim državama članica ⁴	Linije između EU država i država van EU ⁵	Linije izvan EU ⁶
2007	59%	1%	12%	20%	4%	4%
2008	58%	3%	11%	20%	3%	5%
2009	58%	3%	10%	19%	3%	7%
2010	58%	3%	9%	20%	2%	8%
2011	54%	3%	10%	22%	3%	8%
2012	53%	4%	9%	21%	3%	10%
2013	55%	4%	9%	20%	2%	10%
2014	54%	6%	8%	19%	2%	11%

Oznake: 1: Ove linije se realizuju u okviru jedne države članice EU.

2: Ove linije podrazumevaju rute u državama koje su u međuvremenu postale članice EU.

3: Linije koje se realizuju među državama članicama EU.

4: Unutrašnje linije između susednih država članica EU.

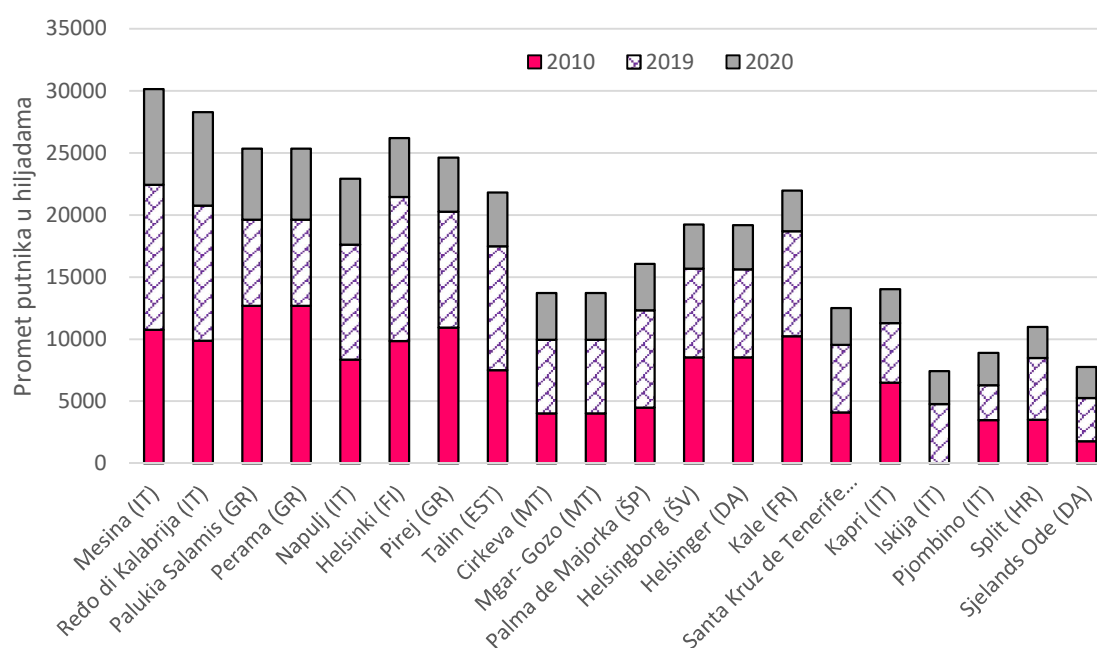
5: Linije između država članica EU i onih koje to nisu.

6: Linije van država članica EU.

Obično je u literaturi zabeleženo da operatori trajektnog servisa putnika u nekom području uglavnom moraju biti javna preduzeća, onda se opravdanost postojanja ovog vida prevoza ogleda kroz (Chlomoudis i drugi, 2007):

- frekvenciju prevoza na dnevnom, nedeljnom, mesečnom nivou, itd.;
- godišnju isplativost/održivost ovog servisa, tačnije, procenu upotrebe servisa na godišnjem nivou;
- obezbeđenje servisa tokom cele godine, a naročito u periodima smanjene frekvencije saobraćaja;
- zadovoljenje standarda prevoza koji se ogledaju kroz prevozni kapacitet putnika po svakom brodu;
- tehničko-tehnološku opravanost upotrebe brodova na trajektnim linijama;
- obezbeđenje svih sigurnosnih i bezbednosnih aspekata ne samo u toku prevoza već i prilikom pristajanja brodova u lukama;
- nivo plaćanja usluga prevoza.

Konačno, na slici 3.14 je prikazan promet 20 vodećih putničkih luka za 2010., 2019. i 2020. godinu (Eurostat, 2021). Od navedenih luka, čak 13 pripada regionu Sredozemlja, četiri su luke Baltika i tri su luke koje pripadaju Severnom moru i okeanu. Luka Mesina je na prvom mestu po ostvarenom prometu posmatrajući 2019. i 2020. godinu, iako sve luke beleže pad prometa putnika u 2020. godini usled COVID-19 krize. Posmatrajući države, Italija i Grčka zahvaljujući dominantnim putničkim lukama beleže najveće promete putnika za ceo posmatrani period.



Slika 3.14. Promet 20 vodećih putničkih luka u Evropi (Eurostat, 2021)

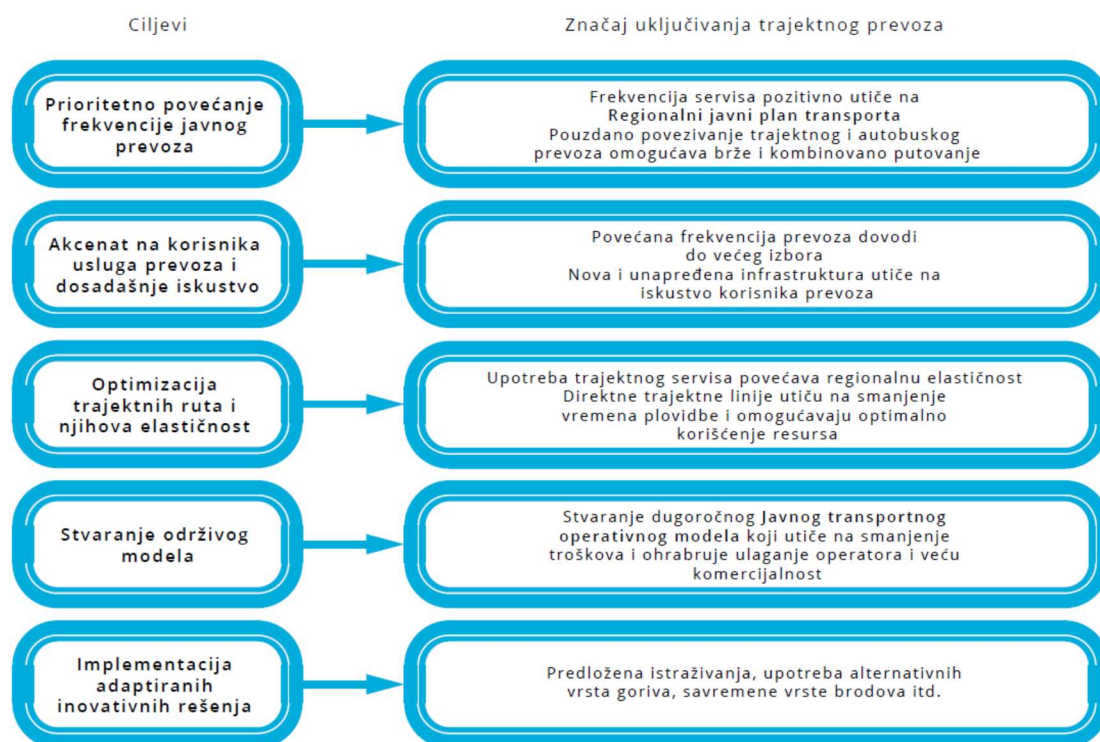
3.3.1. Trajektni servisi na regionalnom nivou

Kada je u pitanju ovaj vid prevoza, trajektni servis je u suštini multimodalne prirode i zavisi od nivoa realizacije različitih operativnih aktivnosti. Zbog toga se karakteristike brodova i potražnje za prevozom značajno menjaju. U urbanim sredinama, trajektni prevoz predstavlja integrisani deo javnog prevoza u cilju proširenja gradske mobilnosti. Ovaj vid transporta putnika je prvenstveno usmeren na meštane i turiste koji koriste brodove manjih dimenzija. Frekvencija i koordinacija prevoza zavisi od više faktora, a

takođe i od nivoa korišćenja drumskih transportnih sredstava. Ono što svakako određuje fleksibilnost trajektnog prevoza je to što je reč o adaptabilnom vidu saobraćaja koji opslužuje trajektne linije shodno potrebama i potražnji za prevozom, za razliku od zagušenih i opterećenih fiksnih saobraćajnica u urbanim područjima.

Na regionalnom nivou i u priobalju, unutar arhipelaga, fjordova, između ostrva, trajektni prevoz može poslužiti kao dopuna drumskim linijama prevoza. Potražnja za prevozom se može odnositi ne samo na putnike, već i na teret, tako da je u tom kontekstu potrebna upotreba većih brodova za prevoz roba. Na nacionalnom nivou, evidentni su socio-ekonomski razlozi koji opravdavaju povezivanje perifernih regiona i udaljenih ostrva, tako da u nekim delovima postoje fiksne linije brodova koje vlade država subvencionišu u cilju njihovog teritorijalnog integriteta.

Jedan od primera definisanja strateških ciljeva i važnosti postojanja trajektnog prevoza putnika i tereta je analiza urađena za region Oklanda (slika 3.15).



Slika 3.15. Shematski prikaz ciljeva koji su obuhvaćeni AT analizom
(prilagođeno prema: Auckland Transport, 2014)

U okviru AT istraživanja, definisana je klasifikacija trajektnih linija u zavisnosti od funkcije i značaja samog servisa za povezivanje regiona u neposrednom okruženju Luke Okland.

Prvi tip linija pripada kategoriji *osnovnih*, tj. fundamentalnih i odnosi se na područje za koje ne postoji alternativni vid prevoza. Dakle, jedino povezivanje stanovništva je morskim putem (Auckland Transport, 2014).

Drugi tip linija su *komplementarne* rute koje su procenjene kao efikasnije od drumskih alternativnih saobraćajnica (Auckland Transport, 2014).

Diskrecione (slobodne) rute kao treći tip trajektnih linija se odnose na one trajektne linije čiji se značaj može poistovetiti sa važnošću drumskih saobraćajnica, ali takođe beleži i smanjeno vreme prevoza do željene destinacije (Auckland Transport, 2014).

Turistički servis, tj. rute, kao poslednja varijanta trajektnih linija su izdvojene na isključivo komercijalnoj osnovi.

Što se tiče evropskog kontinenta, u tabeli 3.2 su dati primeri trajektnog prevoza putnika na regionalnom nivou, gde su specificirane države u kojima se implementira ovaj servis, zajedno sa opisom aktivnosti i odgovarajućom referencom.

Tabela 3.2. Primeri regionalnog trajektnog servisa (Brambilla i Martino, 2016)

Država	Opis servisa	Referenca
Grčka	Reč je o najvećem nacionalnom tržištu putničkog trajektnog prevoza, koje obuhvata sedam regiona, 114 ostrva i godišnje preveze preko 34 miliona putnika. Svi operatori trajektnog prevoza su privatna lica dok država subvencionise one linije koje inače ne bi bile operativne i ekonomski isplative.	Chlomoudis i drugi (2007); Baird i Wilmsmeier (2011); Gratsos (2014); Shippax Market (2015)
Švedska	Manje trajektne linije povezuju Gotland ostrvo u Baltičkom moru sa priobaljem. Servis je u nadležnosti Nacionalne agencije za javni transport.	Baird i Wilmsmeier (2011)

Tabela 3.2. Primeri regionalnog trajektnog servisa (*Nastavak*)

Država	Opis servisa	Referenca
Francuska/ Švajcarska	Granični prelaz preko Ženevskog jezera.	Brambilla i Martino (2016)
Nemačka/ Švajcarska	Granični prelaz preko Bodenskog jezera.	Brambilla i Martino (2016)
Danska	Do 2005. godine Vlada je rukovodila nacionalnim regionalnim servisima i većinu trajektnih linija je ona vodila ili prepustila lokalnim samoupravama. Nakon 2005. godine, nadležnosti su se podelile na: poslove lokalnog javnog organa koji je nadležan za angažovanje brodova i upravljanje operativnom obalom, dok je drugi organ ili organizacija nadležna za sam prevoz. Vlada obezbeđuje subvencije.	Baird i Wilmsmeier (2011)
Italija	Država obezbeđuje prevoz putnika na jezerima kao važan vid transporta meštana, jer pristup drumskim saobraćajnicama nije moguć. Godišnje se preveze preko 8 miliona putnika.	Shippax Market (2015); Ercoli i drugi (2014)
	Trajektni prevoz se odnosi na područje Tirenskog mora i servis koji povezuje Sardiniju sa priobalnim područjem. U početku je bilo reči o operatoru kojeg je subvencionirala država, međutim, od tada su trajektne linije u privatnom vlasništvu, kao i servisi do manjih ostrva.	Shippax Market (2013)
Španija	Servis obezbeđuje povezivanje ostrva sa Balearskim regionom i ovim trajektnim linijama rukovode državna preduzeća.	Hernandez Luis (2004); La Gomera Island (2013); Malachy Walsh i drugi (2004)
Francuska	Reč je o javnom servisu na Korzici.	Ciscoconsultant (2013); Hirst (2014); Spurrier (2016)

3.3.2. Trajektni servisi na lokalnom nivou

Za razliku od regionalnog nivoa, u ovom delu poglavlja se istražuju trajektni servisi u urbanim (gradskim/međugradskim) celinama, gde je dat opis trajektnih linija i postojanje ovog vida prevoza zajedno sa pregledom korisnika koji potražuju pojedine servise. Reč je uglavnom o meštanima koji koriste trajektni prevoz za odlazak na posao ili na fakultet, a takođe ga koriste i turisti koji posećuju pojedine destinacije prikazane u tabeli 3.3. Brodovi na ovim trajektnim linijama imaju uglavnom razvoznu funkciju, dok se na nekim mestima koriste kao taksi brodovi.

Tabela 3.3. Primeri gradskog trajektnog servisa (Brambilla i Martino, 2016)

Lokacija	Opis servisa	Korisnici i potražnja za prevozom
Marsej, Francuska	Linija povezuje dve luke (fra. <i>Vieux Port-Point Rouge</i>) na vremenskoj udaljenosti od 40 min. Kapacitet brodova je 100 putnika.	Meštani koji putuju zbog posla i turisti: na raspolaganju su za 700 korisnika dnevno.
Gdinja, Sopot i Gdanjsk, Poljska	Tri taksi broda povezuju Gdanjsk i Sopot i mogu prevoziti ukupno 140 putnika, dok dva katamarana iz Gdinje imaju kapacitet za prevoz 450 putnika. Koriste se za sezonski prevoz.	Meštani i turisti.
Bidgošč, Poljska	Solarni taksi brod koji prevozi 30 putnika. Uglavnom se koristi u sezoni.	Meštani i turisti.
Loh Lomond, Ujedinjeno Kraljevstvo	Servis omogućava pristup lokalnim mestima i redukuje upotrebu drumskih saobraćajnica. Reč je o sezonskom servisu.	Meštani i turisti. Za šest nedelja u sezoni je prevezeno preko 5000 putnika.
Lisabon, Portugal	Trajektno linije između tri terminala duž reke Težo. 13.1 miliona putnika i 25.9 hiljada vozila je bilo u 2014. godini.	Meštani koji putuju zbog posla i turisti.

Tabela 3.3. Primeri gradskog trajektnog servisa (*Nastavak*)

Lokacija	Opis servisa	Korisnici i potražnja za prevozom
Stokholm, Švedska	Servis povezuje tri grada. 4 miliona putnika i 7000 tona robe se preveze svake godine.	Meštani iz arhipelaga koji putuju zbog posla kao i turisti.
Geteborg, Švedska	Ovim prevozom su obuhvaćene dve luke i okolna ostrva na severu područja.	Prevoze se putnici, biciklisti i vozila.
Vulvič, Ujedinjeno Kraljevstvo	Trajektna linija na realciji Jug-Sever Vulviča.	Prevoze se putnici, biciklisti i vozila preko reke Temze.
London, Ujedinjeno Kraljevstvo	Pet brodova saobraća između 19 pristajališta u ovom delu grada. Oko 3 miliona putnika se preveze svake godine.	Meštani koji putuju zbog posla i turisti.
Amsterdam, Holandija	Tri broda su operativna na severnomorskom putu.	Prevoze se putnici, biciklisti i motociklisti.
Rotterdam, Holandija	Osam trajektnih linija do Roterdama. Preveze se na godišnjem nivou oko 1.5 miliona putnika.	Meštani koji putuju zbog posla i turisti.
Univerzitetski kampus, Rotterdam, Holandija	Javni brzi trajektni prevoz. Oko 150 hiljada putnika se godišnje preveze.	Studenti i turisti.
Venecija, Italija	Prevoz ljudi duž gradskih kanala. Preko 122 miliona putnika godišnje.	Meštani koji putuju zbog posla i turisti.
Napulj, Italija	Povezivanje Napulja sa gradovima i ostrvima iz neposrednog okruženja. Privatni operatori obezbeđuju prevoz na osnovu dobijene koncesije. Preko 2.3 miliona putnika se preveze godišnje.	Meštani koji putuju zbog posla i turisti.

Pored navedenih primera iz tabele 3.3, u nastavku je opisana studija slučaja kada je u pitanju neposredno okruženje i obalno područje Republike Hrvatske u kojoj je ovaj vid prevoza putnika i vozila veoma intenziviran. Na slici 3.16 su prikazane međunarodne i priobalne trajektne linije u Republici Hrvatskoj, njena povezanost sa lukama u Italiji i Grčkoj, kao i veoma zanimljive linije u okviru same države, koje su podeljene na tri kategorije (AOLPP, 2012-2017):

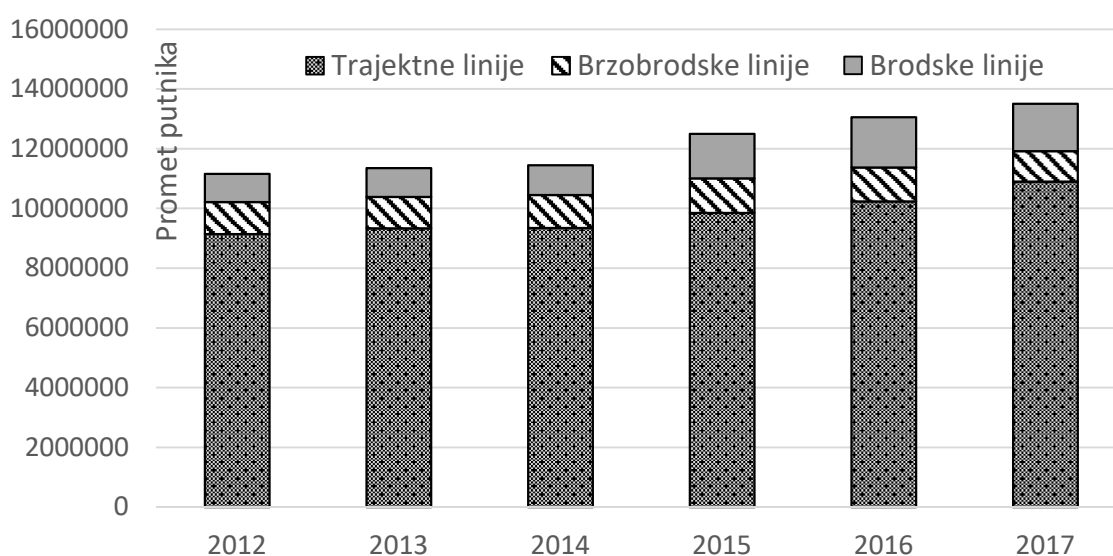
- trajektne linije kojih tokom godine ima 25 ili 26 u zavisnosti od potražnje za prevozom;
- brzobrodске linije kojih tokom godine ima 15 ili 16 u zavisnosti od potražnje za prevozom; i
- klasične brodске linije kojih tokom godine ima 11 ili 12 u zavisnosti od potražnje za prevozom.



Slika 3.16. Međunarodne i priobalne trajektne linije u Republici Hrvatskoj (prilagođeno prema: <http://www.euro-agent.com/hrvatska/morem/sea.htm>)

Vlada države usvojila u 2016. godini odluku o određivanju državnih linija u javnom prevozu u linijskom obalnom pomorskom transportu kojom se utvrđuju državne trajektne, brzobrodске i brodske linije sa odgovarajućom vrstom i minimalnim kapacitetom broda, relacijom putovanja i minimalnom frekvencijom povratnih putovanja na nedeljnom nivou (VRH, 2016).

Shodno izveštajima Agencije za obalni linijski pomorski promet (AOLPP, 2012-2017), na slici 3.17 je prikazan ostvareni promet putnika na navedenim linijama.



Slika 3.17. Promet putnika na državnim linijama u Republici Hrvatskoj od 2012. do 2017. godine (AOLPP, 2012-2017)

Promet putnika na hrvatskim državnim trajektnim linijama beleži veći porast od 2015. godine. Sa prosečnih 11 miliona u 2012., 2013. i 2014. godini, u 2017. godini je taj promet iznosio 13.5 miliona putnika, od kojih se skoro 11 miliona putnika preveze prvom kategorijom trajektnih linija, što iznosi u proseku 80% svih realizovanih trajektnih prevoza. Sa druge strane, na brzobrodске linije upućeno je oko 9% putnika od celokupnog broja, dok klasične brodske linije koristi 11% putnika.

Kolika je važnost trajektnog prevoza u okviru države, pokazuje i broj angažovanih brodara u razmatranom periodu od 2012. do 2017. godine, čiji je udeo u ukupnom prevozu putnika dat u tabeli 3.4 (AOLPP, 2012-2017). Važno je napomenuti da je prvi brodar sa

najvećim udelom u prevozu putnika na državnim trajektnim linijama 100% u vlasništvu države i pokriva 70% od ukupnog broja trajektnih linija u Republici Hrvatskoj. Za ostale koji su dati u tabeli 3.4 je karakteristično da su većinom privatni lokalni brodari.

Tabela 3.4. Udeo brodara u prevozu putnika u procentima (AOLPP, 2012-2017)

Brodar	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<i>Jadrolinija</i>	84.9%	84.9%	85.0%	85.6%	86.4%	87.0%
<i>Rapska plovidba</i>	6.3%	6.0%	6.0%	6.8%	6.2%	6.3%
<i>LNP</i>	1.6%	1.4%	1.2%	0.5%	0.5%	0.5%
<i>G&V Line</i>	1.3%	1.8%	0.7%	0.6%	0.5%	0.5%
<i>Medite. plovidba</i>	1.5%	1.6%	1.7%	-	-	-
<i>Kapetan Luka</i>	1.3%	1.4%	1.0%	1.0%	0.9%	0.9%
<i>Grad Šibenik</i>	0.9%	0.9%	-	-	-	-
<i>Bura Line</i>	0.7%	0.8%	0.8%	0.7%	0.8%	-
<i>Miatrade</i>	0.5%	0.6%	0.6%	0.5%	0.5%	0.4%
<i>RPZ Vrgada</i>	0.5%	0.5%	0.4%	0.5%	0.4%	0.5%
<i>Mankul</i>	0.2%	0.1%	-	-	-	-
<i>Porat Ilovik</i>	-	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
<i>NC Komiza</i>	0.05%	0.06%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
<i>Mec</i>	0.1%	0.01%	-	-	-	-
<i>G&V Line ladera</i>	-	-	1.5%	1.4%	1.3%	1.4%
<i>Gradski parking Šibenik</i>	-	-	0.9%	0.7%	0.8%	0.7%
<i>KTD Bilan</i>	-	-	-	1.7%	1.6%	1.6%

4. JEDAN TEHNO-EKONOMSKI PRISTUP UVOĐENJA REDOVNOG TRAJEKTNOG PUTNIČKOG SERVISA U EKSPLOATACIJU

4.1. Opšta razmatranja

Operativni ciljevi koji služe kao merilo nivoa efikasnosti razlikuju se kod luka koje se nalaze u privatnom i državnom vlasništvu. Ako je luka u privatnom vlasništvu, njen željeni ekonomski opravdan operativni cilj se ogleda u maksimizovanju dobiti ili povećanju prometa tereta ili putnika pri minimalnim troškovima. Ukoliko je luka u vlasništvu države, njen glavni ekonomski opravdan operativni cilj mogao bi se odnositi na maksimizovanje prometa pri nultom operativnom deficitu (gde je lučki prihod jednak ukupnim troškovima) ili pri maksimalnom operativnom deficitu (gde je lučki prihod manji od troška), koji bi na kraju morao biti subvencioniran od strane vlade. Sledeći ovu logiku, da bi brodarska kompanija bila efektivna (proizvela željeni rezultat), mora iskoristiti svoje resurse, tačnije, mora biti efikasna u ekonomskom i tehničkom pogledu. Na primer, ako je cilj broдача da maksimizuje prihode ili da poveća dobit, a da pri tome zadrži isti nivo prometa svojim brodovima, mora redukovati operativne troškove (Talley, 2007).

Da bi se modelirao trajektni prevoz putnika, uglavnom se ovaj problem tretira kao problem dodeljivanja radnih zadataka odgovarajućim trajektnim brodovima koji prevoze putnike duž različitih plovidbenih linija određenog područja. Cilj je da se troškovi uposlenja ove flote minimizuju. U eksperimentalnoj analizi koja je urađena u ovom poglavlju, primenjen je tehno-ekonomski pristup opravdanosti uvođenja projekta redovnog trajektnog prevoza meštana i turista (putnika).

Metode za procenu dobiti putničke luke i ekonomske opravdanosti uvođenja projekta trajektne flote u regionalnom redovnom pomorskom prevozu putnika primenjene su u ovom poglavlju. Ovakvo istraživanje predstavlja značajan iskorak u ispitivanju mogućnosti za implementaciju koncepta redovnog trajektnog prevoza putnika jer bi se

koristio ovaj vid prevoza u različite svrhe. Ovde je urađena analiza koja se odnosi na procenu prihoda i troškova zadate trajektne flote za prevoz putnika. Shodno tome, deo ove analize se odnosi na ekonomsku opravdanost uvođenja različitih tipova trajektnih brodova, dodeljivanje zadataka istim i procena njihove dobiti u posmatranom vremenskom periodu. Evidentno je da se analizom izvršenom u ovom poglavlju omogućava uvid u celokupnu strukturu troškova podeljenu u dve kategorije, i to troškove putovanja i operativne troškove. Prva kategorija troškova podrazumeva: troškove opsluživanja trajektnih brodova, troškove snabdevanja vodom i strujom i troškove goriva. Sa druge strane, u operativne troškove spadaju: troškovi posade, troškovi ulja i maziva, troškovi opravke i održavanja trajektnih brodova, troškovi osiguranja i administrativni troškovi.

Svakako da je ovo samo prvi korak u proceni visine dobiti jedne brodarske kompanije, kao i kod dimenzionisanja veličine trajektne flote koja će ostvariti dobit, tako da postoji prostor za još kompleksnije istraživanje. Naravno, luka, ali i obalno područje moraju obaviti složenije studije izvodljivosti koje bi opravdale investiranje i unapređenje određenih sistema. U tom smislu, iako su ovde primenjene tri različite metode za procenu rentabilnosti investicionog ulaganja, kao što su: neto sadašnja vrednost, interna stopa povrata i indeks profitabilnosti, postoji mogućnost za ekonomsku analizu koja uzima u obzir veći broj parametara i koja razmatra prednosti i nedostatke nekog od oblika privređivanja, kako bi se imalo uvida u nivo prihoda i troškova i donošenje odgovarajućih odluka u infrastrukturnom, operativnom i nekom drugom kontekstu. U prilog tome idu i određene inicijative i studije kao što je slučaj uvođenja katamarana za redovni linijski prevoz u cilju promocije održivog razvoja u Bokokotorskom zalivu (Expeditio, Blue Coach 2013).

Prema tome, potrebno je naglasiti da postoji osnova za detaljnu ekonomsku i tehno-eksploatacionu analizu projekta uvođenja redovnog trajektnog putničkog servisa koji bi uslovio smanjenje zagušenja drumskih saobraćajnica i prilikom čega bi i lokalna područja i pojedini regioni još više zaživeli kada je u pitanju prevoz meštana i turista ovim brodovima. Kao i kod mnogih projekata koji treba da se implementiraju, veoma je teško pridobiti operatore koji bi uložili svoja sredstva u kreiranju dodatnih redovnih trajektnih

linija i ekonomski opravdati njihove investicione poduhvate. Upravo njihova inicijativa da realizuju transport na plovidbenim linijama treba biti opravdana odgovarajućom studijom. Lokalni i regionalni trajektni prevoz je prikladan za dnevnu varijantu, jer ostvaruje velike prihode u organizaciji prevoza meštana od kuće do posla, organizovanja ekskurzija i obilazaka za turiste, tako da utiče na ekonomski razvoj jedne broderske kompanije. Zato se prilikom početka izrade studija i raznih analiza mora ustanoviti nivo potražnje za ovim prevozom u određenom vremenskom periodu, tokom cele godine i sezone kada je intenzitet saobraćaja znatno veći i onog slabijeg dela godine kada se očekuje manja potražnja za prevozom turista. Sa druge strane, potrebno je ovaj vid prevoza uporediti sa alternativnim, što je u većini slučajeva drumski transport. Komparativna analiza bi trebalo da se odnosi na: strukturu i visinu troškova, frekvenciju servisa, cenu prevoza, transportnu distancu, vreme putovanja, troškove investiranja, projektovane prihode i dr.

Da bi trajektni prevoz putnika zaživeo, celokupan projekat mora odgovoriti na mnoga pitanja. Pored toga što se moraju obezbediti operator/i koji bi bio/bili zaduženi za organizaciju transporta na trajektnim linijama, prvenstveno je potrebno definisati lokacije na kojima će pristajati brodovi za trajektni prevoz putnika i obezbediti sve uslove za nesmetan saobraćaj. Kod ove faze se mora voditi računa o obezbeđenju adekvatne infrastrukture i prostornih kapaciteta za rad brodova ovog servisa. Zatim se mora voditi računa o raspoloživosti servisa naročito u situacijama loših vremenskih prilika i izbegavanju raznih vrsta navigacionih rizika kojima putnici i brodovi mogu biti izloženi. Tačnost i pouzdanost u obavljanju prevoza se moraju specificirati, kao i razne fleksibilnosti prevoza u vidu organizovanja povoljnosti za korisnike redovnog servisa kroz programe subvencija, itd. Na kraju treba voditi računa o samoj ekološkoj održivosti sistema, dugoročnoj viziji i njegovom uticaju na zaštitu životne sredine. Rezultati uspešne implementacije ovog prevoza se mogu ogledati u: bezbednom trajektnom transportu, omogućavanju odgovarajuće frekvencije prevoza, zadovoljstvu korisnika i konstantnoj potražnji za ovim prevozom.

Procena uspostavljanja trajektna linije nije nimalo lak zadatak. Ona ujedno mora obezbediti funkcionalnost, ali i atraktivnost prevoza. Cena prevoza putnika mora biti

adekvatno definisana, dok se mora voditi računa da vreme prevoza ne bude suviše dugo, naročito ako je reč o dnevnoj varijanti za potrebe odlaska meštana na posao. Što se tiče prevoza putnika u turističke svrhe, odluka o vremenu transporta je u zavisnosti od turističkih sadržaja koji se nude od jedne do druge luke, plovidbe u vidu jednodnevne ekskurzije itd. Za meštane treba obezbediti održive pomorske trajektne linije tokom cele godine, dok se uvođenje novih ruta uglavnom odnosi na uključivanje obilaska pojedinih delova obale u skladu sa turističkim sadržajima područja. U raznim projektnim istraživanjima, razvoj trajektnog prevoza putnika je favorizovan i od strane lokalnih samouprava. S implementacijom ovog servisa, obalno područje dobija na značaju, razvijaju se i ostale turističke i privredne delatnosti, što utiče na povećanje prihoda. To se ogleda u donošenju racionalnih odluka kada je u pitanju frekvencija prevoza, maksimizacija dobiti i minimizacija troškova brodarske kompanije.

Trajektni servis nalazi veliku primenu i u situacijama kada je nemoguće obezbediti drumski prevoz u nepristupačnim područjima. Na onim linijama na kojima je trajektnom prevozu konkurentan drumski transport, poželjno je da vreme prevoza prvim vidom transporta bude slično i da vremenski ne odstupa puno od vremena koje je potrebno drumskim prevoznim sredstvima. Pored toga, od velikog značaja je postojanje parkirališnih mesta u blizini terminala na kojima se opslužuju ovi brodovi. Sa druge strane, jedan od praktičnih razloga koji opravdava postojanje redovnog trajektnog prevoza putnika se odnosi na vreme uštede u prevozu do željene destinacije.

Kada je u pitanju vlasnička struktura flote za trajektni prevoz putnika, obično se polazi od sledećeg: postavlja se pitanje da li je bolje da operator koji realizuje prevoz bude državna ili privatna kompanija. Pretpostavke su da je kombinacija privatno-javnog vlasništva najbolja opcija. Međutim, u situaciji kada je planirano otvaranje novih trajektnih linija, obično privatna preduzeća nisu u mogućnosti da se na tom proširenom tržištu odmah pojave sa novom flotom, jer je nabavka dodatnih brodova dosta skupa. Kako javni operatori imaju pristup većim fondovima, onda je sa te tačke gledišta, njima jednostavnije da nabave dodatnu flotu. Međutim, treba svakako raditi na unapređenju operativnog finansiranja kako bi sve strane bile zadovoljne i kako bi se obezbedila neophodna flota za realizaciju redovnog trajektnog prevoza i prevoza u turističke svrhe.

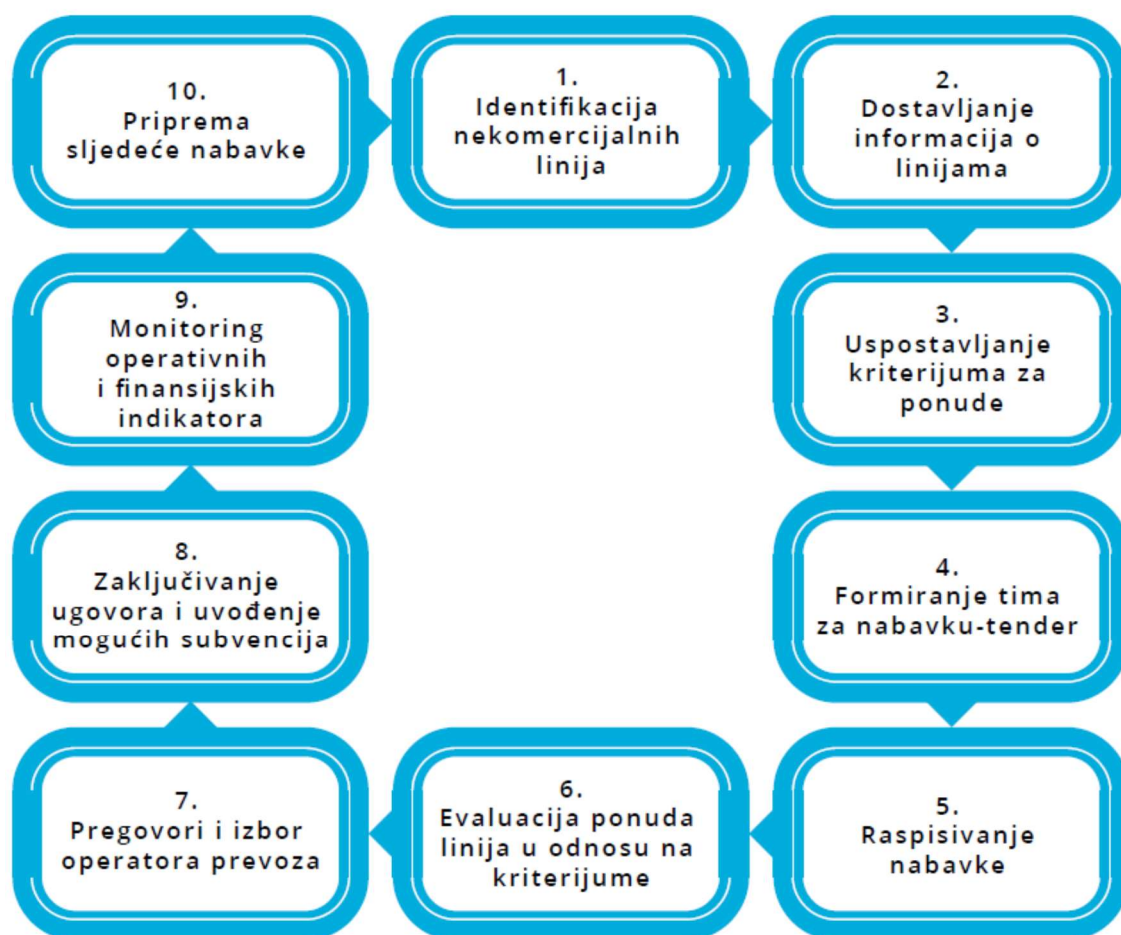
Kada je u pitanju definisanje cene prevoza trajektnom flotom, potrebno je obezbediti da se korisnici ovog prevoza privuku, a takođe da je sa tim cenama servis generalno finansijski održiv. Pošto se ovaj vid prevoza koristi uglavnom kao tranzitni, onda se očekuje da i država obezbedi izvesne subvencije koje bi bile atraktivne korisnicima i pružaocima usluga prevoza.

4.2. Istraživanja uvođenja redovnog trajektnog prevoza putnika

U svom istraživanju, Rehmatulla i drugi (2017) su ilustrativno prikazali proces uvođenja redovnog trajektnog servisa u nacionalnim okvirima koji isključuje bilo koji vid diskriminacije među operatorima ovog prevoza. Proces uvođenja redovnog trajektnog prevoza je prikazan na slici 4.1.

Za njegovo uvođenje, veoma značajnu ulogu imaju operatori i ostali učesnici koji omogućavaju da ovaj oblik prevoza bude funkcionalan i da služi korisnicima za savlađivanje određenih morskih udaljenosti i dolaska na željenu destinaciju. Od najvećeg značaja su operatori redovnog trajektnog prevoza koji su direktno odgovorni za njegovu implementaciju na dnevnom nivou. Reč je najčešće o dugoročnom zakupcu brodova koji su u privatnom posedu, ili pak operatoru koji na lokalnom ili regionalnom nivou reguliše pomorski saobraćaj, kao i javnom preduzeću koje je najčešće subvencionirano od strane Vlade države (Rehmatulla i drugi, 2017).

Sa druge strane, u ulozi koordinatora ovog prevoza može se pojaviti i vlasnik brodova za trajektni prevoz koji nastoji da obezbedi dobit od svakog broda, tačnije od svakog putovanja i taj vlasnik može biti preduzeće koje poseduje komercijalnu kontrolu nad različitim operacijama broda bez posedovanja istog. Sledeći koji se pojavljuje kao koordinator redovnog trajektnog prevoza je lokalna samouprava koja je odgovorna za obezbeđivanje ovog prevoza uključujući infrastrukturu i alociranje brodova na plovidbenim linijama.



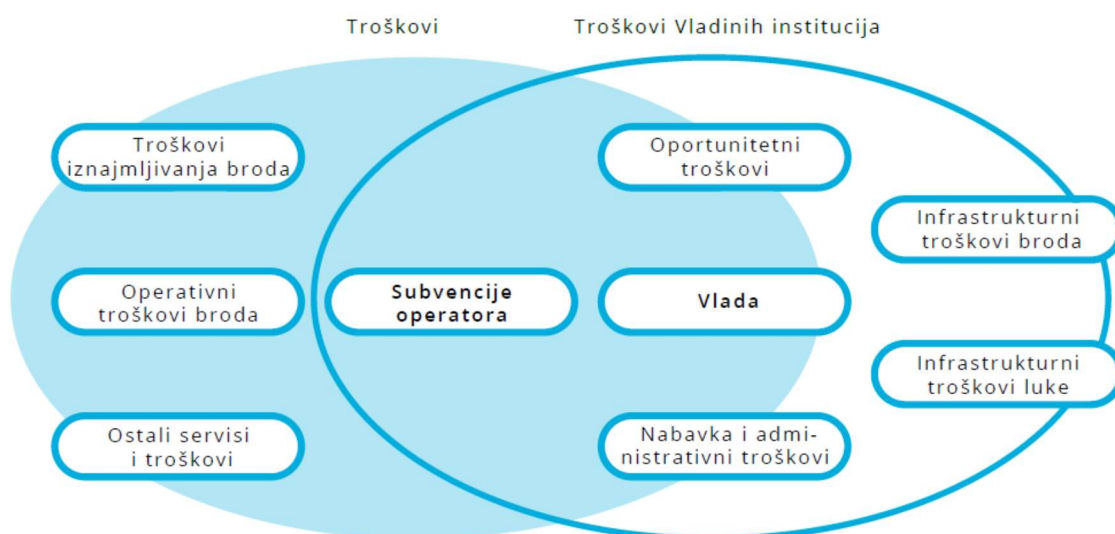
Slika 4.1. Proces uvođenja operatora redovnog trajektnog prevoza (Rehmatulla i drugi, 2017)

Vlada se može pojaviti kao nosilac politika nacionalnog saobraćaja koji reguliše servis na državnom nivou. Na kraju, kao nosilac ovog prevoza pojavljuju se regionalna transportna partnerstva koja koordiniraju njime na regionalnom nivou (Rehmatulla i drugi, 2017). Uvođenje i implementacija trajektnog servisa u okviru jedne države ili regiona nije nimalo lak zadatak. Kako navode ovi autori, praksa koja se primenjuje u Evropskoj uniji podrazumeva interakciju velikog broja učesnika, partnerstava i organizacija, koji su u vezi sa operatorom/ima trajektnog prevoza. Pre svega, u cilju pravilnog uvođenja navedenog oblika prevoza, potrebno je svu pravnu regulativu usaglasiti sa Međunarodnom pomorskom organizacijom (eng. *International Maritime Organization*), Evropskom unijom i Vladinim institucijama (resorno ministarstvo i drugi

organi državne uprave) koje moraju biti u direktnoj vezi sa nadređenim organizacijama. Zatim se odgovornost za funkcionisanje trajektnog prevoza dalje prenosi na lokalnu samoupravu ili regionalno partnerstvo za transport, dok operatori sa ovim organizacijama moraju usaglasiti svoju ponudu prevoza sa operativnim plovidbenim linijama. Na lokalnom nivou, operator trajektnog prevoza je u svakodnevnoj internoj komunikaciji sa lučkom upravom, kapetanijom, brodovlasnicima, posadom, brokerima, korisnicima svojih usluga uključujući putnike, drumske prevoznike, osiguravajuća društva, zajednicu itd.

U istom istraživanju (Rehmatulla i drugi, 2017), ističe se da postoje tri vlasničke strukture organizacije trajektnog prevoza: prvi podrazumeva operatore u vlasništvu država, drugi su privatni operatori, dok treću grupu čine operatori u vlasništvu zajednice. Upravo u zavisnosti od ovih struktura, njihov odnos prema kapitalnim i operativnim troškovima se znatno razlikuje. Na primer, kod iznajmljivanja brodova, koriste se dve forme iznajmljivanja (čarterovanja) i to na ugovoreni vremenski period i zakup broda koji podrazumeva iznajmljivanje broskog prostora bez posade. Kapitalni troškovi obuhvataju: troškove kupovine novog ili korišćenog broda, isplatu duga, kamatnu stopu, adaptaciju infrastrukture luke ili pristaništa itd. Sa druge strane, u ukupne troškove spadaju: troškovi putovanja, operativni troškovi i troškovi obale. Troškovi putovanja obuhvataju: troškove goriva, lučke troškove i troškove naplate prolaza kroz kanale. Troškovi posade, opravki, suvog doka, tehničko održavanja, osiguranja, istraživanja, spadaju u operativne troškove. Troškovi obale podrazumevaju: unajmljivanje prostora na obali, lične dohotke zaposlenih, osiguranje i režijske i administrativne troškove (Rehmatulla i drugi, 2017).

Na slici 4.2 je prikazan odnos troškova iz ugla operatora i Vladinih institucija. Pošto je reč o redovnom servisu koji je većinom subvencioniran od strane državnih institucija, uočava se da država učestvuje u pokrivanju nastalih troškova, a sve u cilju obezbeđenja održivosti trajektnog prevoza.



Slika 4.2. Odnos troškova iz ugla operatora i Vladinih institucija
(Grant Thornton UK LLP, 2010; Rehmatulla i drugi, 2017)

Prema Baird (2001) postoji nekoliko kriterijuma koji se moraju zadovoljiti da bi se opredelilo subvencioniranje operatora trajektnog prevoza:

- Plovidbene linije moraju podrazumevati redovni prevoz do udaljenih područja (uključujući ostrva);
- Trajektni prevoz mora biti redovan;
- Servis beleži finansijske gubitke;
- Plovidbene linije moraju služiti za prevoz meštana, za prevoz tereta (roba) i za poštanske usluge;
- Vlada mora predložiti plovidbenu liniju za subvencioniranje i
- Vlada primenjuje skalu prihoda/rashoda da proceni nivo očekivanih gubitaka i da definiše iznos subvencije.

Za razliku od nekih drugih međunarodnih shema subvencija za ostrvske redovne prevoze, Evropska zajednica sprovodi petogodišnju koncesiju za implementaciju trajektnog prevoza. Smatra se da je pet godina sasvim dovoljan period da operator investira u trajektnu flotu. Sa druge strane, za procenu iznosa subvencije koju država obezbeđuje, podrazumevaju se sledeći faktori (Baird, 2001):

- Identifikacija najkraćih javnih plovidbenih linija između udaljenih područja (ostrva) i kontinenta, tačnije centra grada ili mesta na regionalnom nivou;
- Pristupačnost sa kontinentalne strane od ishodišne do odredišne luke;
- Vreme putovanja na plovidbenoj liniji;
- Cena prevoza;
- Frekvencija prevoza;
- Stopa otkazivanja;
- Dostupnost alternativnih linija i
- Uporedivost jedne plovidbene linije sa drugom.

Da bi operator aplicirao za sticanje subvencija, mora obezbediti plan operativnih aktivnosti, procenu prihoda i rashoda i drugu dodatnu dokumentaciju kao što je (Baird, 2001):

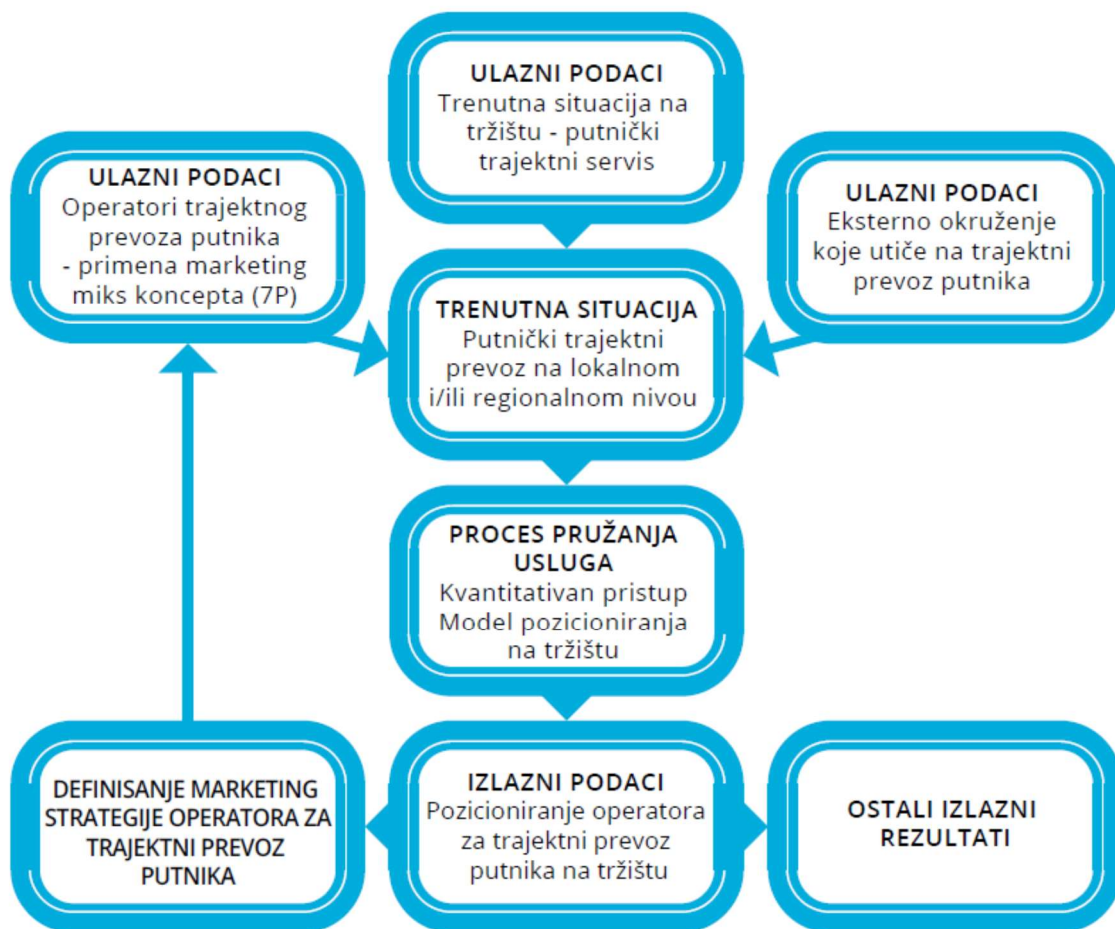
- Spisak ishodišnih i odredišnih luka sa dužinom plovidbenih linija prikazanih na specijalnom grafikonu i
- Detaljan plan uputstva za putnike uključujući broj putovanja i vozni red.

Takođe, zahtevi koje operator mora ispuniti da bi se kvalifikovao za dodeljivanje subvencija su:

- Maksimalna plovidbena brzina broda da bude što veća i da odgovara savremenim tehnološkim trendovima;
- Prevozni kapacitet broda da bude što veći i da prati savremene trendove;
- Brod da isključivo služi u svrhe trajektnog prevoza;
- Step modernizacije broda mora biti usaglašen sa zahtevima tržišta.

Primeri funkcionisanja trajektnog servisa u Norveškoj su prikazani u radu Odeck (2008). Konceptualni model pozicioniranja operatora za trajektni prevoz koji su prikazali Yercan i Roe (1999), usmeren je na definisanje ključnih elemenata i njihovog međusobnog delovanja u okviru jedinstvenog modela za pozicioniranje na tržištu. Ovaj model je prilagođen istraživanju u ovoj doktorskoj disertaciji i prikazan je na slici 4.3.

Ključni elementi su pretvoreni u merljive promenljive kako bi se na pravi način testirala polazna hipoteza o operacionalizaciji modela pozicioniranja operatora na tržištu trajektnog prevoza. Ulazni podaci modela podrazumevaju ispunjavanje upitnika od strane operatora koji je baziran na 7P marketing miksa konceptu koji podrazumeva sledeće elemente: proizvod (eng. *product*), prodajnu cenu (eng. *price*), distribuciju i prodaju (eng. *place*), promociju (eng. *promotion*), ljude (eng. *people*), fizičko okruženje (eng. *physical evidence*) i proces pružanja usluga (eng. *process*) (Yercan i Roe, 1999).



Slika 4.3. Konceptualni model pozicioniranja operatora za trajektni prevoz (prilagođeno prema: Yercan i Roe (1999))

Ulazni elementi obuhvataju: trenutnu situaciju na tržištu, kompanije za trajektni prevoz putnika i eksterno okruženje koje direktno/indirektno utiče na dešavanja na ovom

tržištu. Dalje, proces pružanja usluga podrazumeva: trenutnu situaciju na lokalnom i regionalnom nivou kada je u pitanju trajektni prevoz putnika i kvantitativni pristup sa ulaznim podacima neophodnim za modeliranje i identifikaciju pozicije operatora ovog prevoza. Izlazni elementi modela su: pozicioniranje operatora za trajektni prevoz putnika na tržištu što predstavlja i najvažniji izlazni rezultat analize; drugi element je marketing strategija operatora koja obezbeđuje povratnu vezu kod marketing miks koncepta i ostali izlazni rezultati koji se odnose na jedan vid identifikacije operatora (Yercan i Roe, 1999).

Waters II i drugi (1996) su objasnili ekonomsku i socijalnu pozadinu subvencioniranja trajektnog servisa kroz detaljna obrazloženja troškova koji se javljaju na onim plovidbenim linijama na kojima je niska frekvencija pomorskog transporta. Prvo se polazi od toga da je reč o kompleksnoj analizi koja podrazumeva različite vrste prevoza: putnika, roba (tereta) i vozila. Veoma je nezahvalno proceniti da je neki trajektni prevoz isplativ ukoliko se ostvaruje visoka dobit samo u prevozu jedne od navedene tri vrste prevoza. Stoga je teško napraviti uporednu analizu cene prevoza i troškova za različite vrste prevoza. Zato su u svojoj analizi Waters II i drugi (1996) pošli od toga da prvo identifikuju marginalne i inkrementalne (diferencijalne) troškove koji se mogu izbeći. Ovi troškovi variraju i u zavisnosti su od vrste servisa koji se razmatra. Na dugoročnom planu, prihodi moraju biti veći od marginalnih troškova, međutim, na početku procene nivoa subvencija na plovidbenim linijama pravi se uporedna analiza prihoda i inkrementalnih troškova.

Uobičajeno je da se potražnja za ovim prevozom razlikuje na mesečnom, nedeljnom, dnevnom pa čak i časovnom nivou. Međutim, ne može se tako lako prilagoditi prevozni kapacitet uposlene flote za trajektni prevoz u periodima visoke potražnje za prevozom putnika, roba (tereta) i vozila i u periodima smanjene frekvencije prevoza. Postoje situacije kada treba povesti računa o ekonomiji obima u različitim sferama trajektnog prevoza. Jedna od preporuka je smanjenje prosečnih troškova. Polazi se od toga da je ekonomski prihvatljivije da se snize cene prevoza kako bi se povećala iskorišćenost flote za trajektni prevoz, umesto da se cene prevoza povećaju. Generalno, kod brodova je malo drugačija situacija, jer je reč o pokretnim nepokretnostima koje odlikuju oportunitetni troškovi (troškovi propuštene prilike), tako da cena plaćanja

prevoza mora biti tako formirana da pokrije ovu vrstu gubitaka. Prema tome, operativni troškovi broda na dnevnom nivou ili po putovanju moraju biti pokriveni kumulativnom potražnjom za prevozom u definisanom vremenskom periodu. Dakle, kumulativan prihod na dnevnom nivou mora pokriti troškove broda koji su se ostvarili u trajektnom prevozu. Visina subvencije zavisi od ekonomije obima brodova velikih prevoznih kapaciteta, međutim ova situacija postaje komplikovana jer brodovi većih prevoznih kapaciteta obezbeđuju dodatni prostor za prevoz putnika tako da ih je potrebno adekvatno uposliti i iskoristiti njihove prevozne kapacitete (Waters II i drugi, 1996).

Iz perspektive operatora za trajektni prevoz, ukoliko dođe do dvostruko veće potražnje za prevozom, nosilac ovog transportnog zahteva će, na osnovu pravila ekonomije obima, kupiti jedan brod koji može zadovoljiti navedenu potražnju za prevozom i na taj način smanjiti osnovne operativne troškove, umesto što će kupiti dva manja broda. Međutim, bez obzira što su ovakva rešenja isključivo ekonomskog karaktera, ista su u koliziji sa socijalnim aspektom koji se ogleda u tome da će u situaciji postojanja jednog broda većih prevoznih kapaciteta, vreme čekanja na prevoz biti dvostruko veće. Zato se pokušava naći adekvatno rešenje za donošenje optimalnih odluka da li nabaviti više manjih brodova ili jedan većih prevoznih kapaciteta i samim tim povećati vreme čekanja na prevoz. Waters II i drugi (1996) daju prednost smanjenju vremena čekanja na prevoz na dužim plovidbenim linijama. Sa druge strane, veći je broj kratkih plovidbenih linija i nekada je dovoljan jedan brod koji može zadovoljiti sve zahteve za prevozom na dnevnom nivou.

U pomorskom saobraćaju se pojavljuju i eksternalije – neočekivane posledice (pozitivne i negativne) koje se ogledaju u tome da se ekonomski benefiti koji se generišu prevozom ne prepoznaju od strane korisnika usluga na pravi način. U poslednje vreme se dosta izučavaju negativne eksternalije kao što je zagađenje životne sredine koje prouzrokuje izvesne troškove. Isto tako, mnoga istraživanja upoređuju drumski prevoz sa trajektnim na način da se, u situaciji povećanja cene drumskog prevoza, korisnici usluga preorijentišu na trajektni prevoz, međutim, koliko je to zaista svrsishodno, ostaje da se proceni. Druga istraživanja su usmerena ka tome da se subvencionira trajektni prevoz. Najbolja varijanta je da su troškovi trajektnog prevoza niži od onih ostvarenih u

drumskom prevozu i na taj način bi ovaj oblik pomorskog transporta u većoj meri zaživeo. Kod ovakvih i sličnih analiza, mora se voditi računa o standardima bezbednosti i sigurnosti koji su rigorozniji kada je u pitanju pomorski više nego drumski transport (naročito ukoliko je reč o nisko frekventnim drumskim saobraćajnicama) (Waters II i drugi, 1996).

Khazabi (2017) navodi četiri modela upravljanja kompanijom za trajektni prevoz koji se pojavljuju na svjetskom nivou. Prvi model je potpuno javni model koji podrazumeva da je ova kompanija isključivo javnog karaktera i njom upravlja država kao većinski vlasnik. Ono što karakteriše ovaj model je prisustvo visokih standarda kada je u pitanju sigurnost, bezbednost plovidbe i zadovoljenje korisnika prevoza. Slična je situacija i kod polu-javnog modela. Ovaj model kompanije za trajektni prevoz podrazumeva da je vlasnička struktura državna, ali da su operativne aktivnosti koordinisane od strane privatnog tela. Treći model je koncipiran na polu-privatnoj bazi i odnosi se na to da je trajektni servis u privatnom vlasništvu, dok su operativne aktivnosti koordinisane u skladu sa javnom regulativnom koju kontroliše lokalna samouprava.

Kod privatnog modela, jedina uloga koju državna uprava ima, odnosi se na zadovoljenje minimalnih uslova za sigurni nadzor brodova u plovidbi. Sve ostale nadležnosti su u okviru privatnog preduzeća. Privatni i poluprivatni modeli se više odnose na ostvarivanje efikasnosti i profitabilnosti. U principu, ove modele karakteriše veća stopa dobiti i srazmerno niži troškovi rada (Khazabi, 2017).

Kako navode Weisbrod i Lawson (2003), postoji šest principa koje planeri moraju uzeti u obzir prilikom stvaranja savremenog redovnog trajektnog sistema prevoza:

- Sistem mora biti integrisan u opšti plan saobraćaja;
- Sistem treba da omogući da povezivanje sa kopnom bude regulisano na pravi način i bez iznenadnih problema;
- Sistem je potrebno kreirati da poveća ekonomske povoljnosti obalnog područja;
- Sistem mora uzeti u obzir zaštitu životne sredine i redukovati negativne uticaje na istu;
- Sistem je koncipiran na način da obezbedi sigurnost i bezbednost i smatra se da su brodovi za trajektni prevoz putnika zadovoljili neophodne standarde;

- Pored dominantnog prevoza putnika i vozila, sistem mora obezbediti i prevoz tereta.

Trajektni prevoz ima mogućnost da pozitivno utiče na ekonomski razvoj regiona i to na različite načine. Specifično je da redovni trajektni prevoz, pored klasičnog zadovoljenja potreba meštana za odlazak na posao, ima uglavnom pozitivne implikacije na razvoj turizma i na taj način stvara povoljan efekat na stanovništvo. Dodatno, zahvaljujući ovom vidu prevoza, cene nekretnina u neposrednoj blizini luka za ove brodove su u porastu. Konačno, konkretan uticaj se oseća i na primeru turističke atrakcije regiona koji raspolaže ovim prevozom i koji povezuje udaljene lokacije na moru sa kontinentom.

Sa druge strane, pored unapređenja turističke ponude, uvođenje i adaptacija trajektnog prevoza putnika ostvaruje pozitivne efekte i na zaštitu životne sredine. U prvom redu se misli na smanjenje emisije izduvnih gasova zahvaljujući savremenim rešenjima u pogonskom gorivu i tipu pogonskog stroja koji se koriste na ovim brodovima. Takođe, trajektni prevoz putnika pozitivno utiče i na smanjenje zagušenja na drumskim i drugim alternativnim saobraćajnicama (Weisbrod i Lawson, 2003).

U urađenoj analizi u ovom poglavlju, pomogla je i izrada *Studije izvodljivosti za uspostavljanje održivog, pomorskog, javnog transporta solarnim katamaranima u Boki Kotorskoj* (Expeditio, Blue Coach 2013). Naime, u studiji je analizirana isplativost investicije u uspostavljanju održivog trajektnog javnog transporta. U istom dokumentu je data procena troškova za pokretanje celokupnog projekta koji bi doprineo razvoju regiona i poboljšanju turističke ponude.

Uzimajući u obzir činjenicu da je u obalnom području jedan od glavnih problema lokalni drumski transport, pošto usled nedostatka adekvatnih saobraćajnica dolazi do stvaranja velikih zastoja u letnjim mesecima, ovde je dat akcenat na mogućnost ulaganja u projekat osnivanja redovnog putničkog trajektnog servisa na regionalnom ili lokalnom nivou.

4.3. Metode za procenu investicionog ulaganja u trajektnu flotu na primeru regionalnog prevoza

U ovom delu disertacije su predloženi tipovi trajektnih brodova za prevoz putnika sa različitim prevoznim kapacitetima: trajektni brod prvog tipa može prevoziti do 400 putnika (FFT1: 1A), dva trajektna broda drugog tipa su na raspolaganju da prevoze po 200 putnika (FFT2: 2A i 2B), kao i dva trajektna broda trećeg tipa kapaciteta po 150 putnika (FFT3: 3A i 3B). Ukupna investicija za nabavku ovih korišćenih brodova je procenjena na 2.8 miliona \$. Ovde se nastoji ispitati finansijska opravdanost implementacije projekta uvođenja redovnog trajektnog putničkog servisa. Polazi se od toga da se u određenom vremenskom periodu očekuje povraćaj uložениh sredstava iz novčanih priliva. Ključna stvar kod analize ovakvih projekata se odnosi na kvalitetnu projekciju očekivanih novčanih tokova projekta, kao i procenu rizika implementacije istih. U literaturi su najčešće primenjene metode za procenu rentabilnosti investicionog ulaganja, i to: *neto sadašnja vrednost* (NPV), *interna stopa povrata* (IRR) i *indeks profitabilnosti* (BCR). Metoda neto sadašnje vrednosti očekivanih novčanih tokova predstavlja ujedno i dinamički eliminacioni kriterijum ocene samog projekta (Stojanovski, 2009).

Neto sadašnja vrednost predstavlja vrednost neto novčanog toka u celom periodu projekta svedena diskontovanjem na sadašnju vrednost. Dobijena vrednost neto novčanog priliva po sadašnjoj vrednosti ukazuje u kom nivou je sam projekat odbacio nove vrednosti posle podmirenja investicionog ulaganja. Ukoliko je sadašnja vrednost prihoda veća od sadašnje vrednosti ulaganja u projekat, tačnije, ako je njegova neto sadašnja vrednost veća od nule, onda je investicioni projekat prihvatljiv. To znači da je profitabilnost samog projekta iznad granične diskontne stope. U suprotnom, projekat se odbacuje ukoliko je neto sadašnja vrednost manja od nule, tj. ako je sadašnja vrednost njegovih prihoda manja od sadašnje vrednosti ulaganja u projekat (Stojanovski, 2009).

Sa druge strane, interna stopa povrata je ona diskontna stopa koja sadašnju vrednost neto novčanog toka projekta svodi na nulu (Stojanovski, 2009). Ujedno, interna stopa povrata pored rentabilnosti projekta ili investicije pokazuje i najveću kamatnu stopu koju

projekat može prihvatiti, a da pri tome ne ostvari gubitak. Konačno, smatra se da je projekat prihvatljiv ukoliko je interna stopa povrata jednaka ili veća od kamatne stope, koja u ovom slučaju iznosi 10% (iako je uobičajno da bude 5%), analogno studiji Expeditio, Blue Coach (2013). Indeks profitabilnosti projekta je odnos sadašnje vrednosti budućeg novčanog priliva prema sadašnjoj vrednosti budućeg novčanog odliva. Bez obzira što neto sadašnja vrednost izražava, u apsolutnim iznosima, očekivani ekonomski doprinos projekta, sa druge strane, indeks profitabilnosti izražava samo relativnu profitabilnost. Ukoliko je vrednost indeksa profitabilnosti veća od 1, projekat će biti prihvatljiv (Stojanovski, 2009).

Prosta korelaciona i regresiona analiza

Koeficijent determinacije (R^2) se izračunava po sledećem izrazu (Lovrić, 2008):

$$R^2 = b_1^2 \frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{\sum y^2 - n\bar{y}^2} \quad (4.1)$$

pri čemu je $0 \leq R^2 \leq 1$, dok je b_1 – ocenjena vrednost nagiba, n – veličina uzorka, x i y su promenljive, dok su \bar{x} i \bar{y} aritmetičke sredine.

Koeficijent korelacije se računa na osnovu sledećeg izraza (Lovrić, 2008):

$$R = \pm\sqrt{R^2} \quad (4.2)$$

Metode za procenu rentabilnosti investicionog ulaganja

Neto sadašnja vrednost projekta (NPV) se računa prema izrazu (Stojanovski, 2009):

$$NPV = \sum \frac{[B(t) - C(t)]}{(1 + d)^t} \quad (4.3)$$

gde je:

NPV – neto sadašnja vrednost,

$B(t)$ – novčani priliv u godini t (prihod),

$C(t)$ – novčani odliv u godini t (rashod),

t – godina projekta ili investicije,

d – diskontna stopa.

Pri diskontnoj stopi d , projekat se prihvata ako je $NPV > 0$; u suprotnom, projekat se odbacuje. Interna stopa povrata (IRR) podrazumeva maksimalno prihvatljivu cenu kapitala pod kojom se isplati ulaziti u celokupni projekat i reč je o diskontnoj stopi koja sadašnju vrednost neto novčanog toka projekta svodi na 0 (Stojanovski, 2009):

$$NPV = \sum \frac{[B(t) - C(t)]}{(1 + r)^t} = 0 \quad (4.4)$$

gde je r diskontna stopa koja svodi neto sadašnju vrednost na nulu. Pri diskontnoj stopi r , projekat se prihvata ako je $IRR > 0$; u suprotnom, projekat se odbacuje.

Konačno, indeks profitabilnosti (BCR) se dobija po sledećem izrazu (Stojanovski, 2009):

$$BCR = \frac{\sum B(t)/(1 + d)^t}{\sum C(t)/(1 + d)^t} \quad (4.5)$$

gde je t – godina projekta ili investicije i d – diskontna stopa, dok su $B(t)$ – novčani priliv u godini t (prihod) i $C(t)$ – novčani odliv u godini t (rashod).

4.3.1. Računanje procene rentabilnosti investicionog ulaganja

U ovom slučaju, polazi se od pretpostavljenih podataka u prvoj godini kada se procenjuje da je trajektni servis za obilazak regiona koristilo 75 hiljada putnika. Takođe, polazi se od toga da će ovaj vid prevoza koristiti veći broj turista u narednom periodu (a i meštana ukoliko zaživi redovni trajektni servis tokom cele godine), tako da je napravljena analiza osetljivosti za sledeće scenarije:

- promet putnika trajektnim servisom u drugoj, trećoj, četvrtoj, petoj i šestoj godini je 85 hiljada, 100 hiljada, 115 hiljada, 130 hiljada i 150 hiljada, redom;
- prva stvarna cena prevoza na četiri ponuđene plovidbene linije je 12 \$ po putniku. Takođe, razmatrani su prihodi i rashodi trajektne flote u zavisnosti

od različite vrednosti cene, koja u drugom slučaju iznosi 10 \$ po putniku, odnosno u trećem slučaju vrednosti cene je 15 \$ po putniku.

Tabela 4.1. Prihodi i rashodi (u \$) u odnosu na prvu cenu prevoza putnika

	Prihodi					
	Prva god.	Druga god.	Treća god.	Četvrta god.	Peta god.	Šesta god.
TL 1*	228000	256200	301800	338400	388800	452400
TL 2*	225600	254400	298200	347400	388800	450000
TL 3*	221400	253800	300600	346800	388200	445800
TL 4*	225000	255600	300000	347400	394800	452400
	Rashodi					
	Prva god.	Druga god.	Treća god.	Četvrta god.	Peta god.	Šesta god.
TL 1*	56400	63550	75150	84400	97000	112900
TL 2*	48150	54400	63950	74850	83600	97000
TL 3*	43100	49300	58900	68200	76200	87600
TL 4*	60850	68650	81400	94450	107700	123200

Oznake:

TL 1* označava prvu plovidbenu liniju;

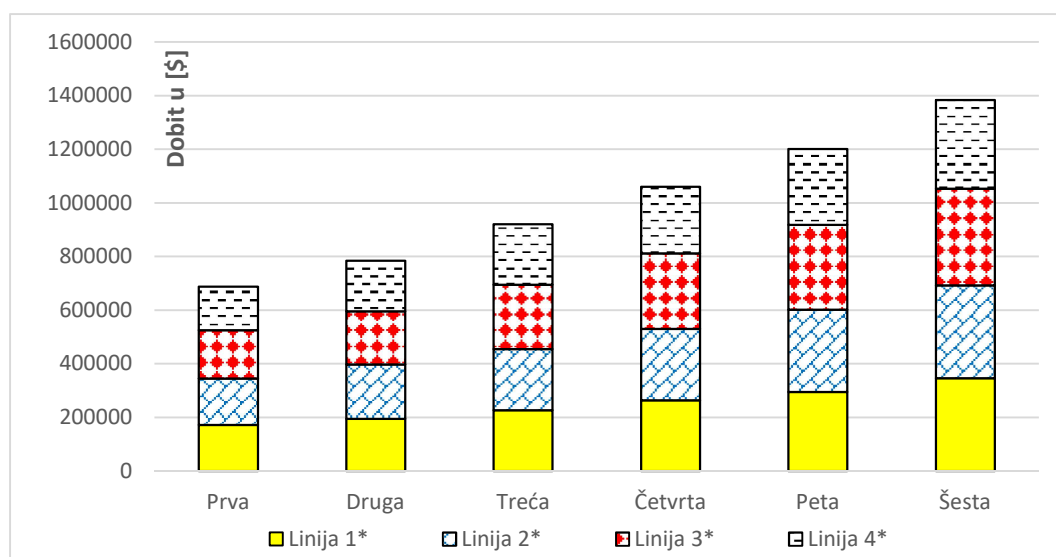
TL 2* označava drugu plovidbenu liniju;

TL 3* označava treću plovidbenu liniju;

TL 4* označava četvrtu plovidbenu liniju.

Dobijeni rezultati ukazuju na trend povećanja dobiti trajektne flote u skladu sa povećanjem broja zainteresovanih putnika za prevoz. Ovo takođe ukazuje na posmatrani primer regiona, gde samo jedan brod kapaciteta 400 putnika prevozi oko 30 hiljada putnika. Naravno, odnos prihoda i rashoda flote se može dobiti i za druge ulazne vrednosti zainteresovanih putnika za prevoz. Shodno modelu dodeljivanja trajektnih brodova određenim zahtevima, u tabeli 4.1 dat je primer koji se odnosi na raspoređivanje ovih brodova po pojedinim linijama (broj putovanja broda) u cilju zadovoljenja zahteva za prevoz 150 hiljada putnika u šestoj godini.

Kao što se može primetiti, primenujući izraze (4.1-4.5), dobijeni rezultati na slici 4.4 ukazuju na trend povećanja dobiti trajektne flote u skladu sa povećanjem broja zainteresovanih putnika za prevoz. Naravno, da se odnos prihoda i rashoda flote može dobiti i za druge ulazne vrednosti zainteresovanih putnika za prevoz i obilazak regiona.



Slika 4.4. Dobit u (\$) u odnosu na prvu cenu prevoza putnika

Konačno, u tabeli 4.2 je dat pregled dobiti trajektne flote u odnosu na različite slučajevne vrednosti cene prevoza regionom po putniku, i to: 12 \$, 10 \$ i 15 \$, redom.

Tabela 4.2. Dobit (u \$) u odnosu na različite cene karte po putniku

	Prva god.	Druga god.	Treća god.	Četvrta god.	Peta god.	Šesta god.
Prva cena	691500	784100	921200	1058100	1196100	1379900
Druga cena	541500	614600	722850	830450	940050	1083250
Treća cena	916500	1039600	1224350	1405450	1591050	1833750

4.3.2. Diskusija

U tabeli 4.3 je dat primer koji se odnosi na raspoređivanje trajektnih brodova pojedinim plovidbenim linijama (broj putovanja) u cilju zadovoljenja zahteva za prevoz

150 hiljada putnika u šestoj godini. Uzimajući u obzir rezultate dobijene u tabeli 4.2, na slici 4.5 su shodno izrazima (4.3-4.4) i ulaznim podacima u nastavku predstavljeni rezultati neto sadašnje vrednosti i interne stope povrata u odnosu na ulaganje u navedeni projekat koji je procenjen na 2.8 miliona \$, za različite cene karte po putniku.

Tabela 4.3. Rezultati dodeljivanja brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika

Broj putovanja	FFT1	FFT2		FFT3	
	1A	2A	2B	3A	3B
TL 1*	36	33	31	34	36
TL 2*	35	33	32	35	35
TL 3*	35	33	31	34	35
TL 4*	36	33	31	35	35

Na osnovu rezultata iz tabele 4.3, se evidentno uočava da je najveći broj putovanja realizovan trećom vrstom brodova, ukupno 279, zatim sledi broj putovanja drugom vrstom brodova 257, dok je 142 putovanja realizovano prvim brodom. Shodno tome, u tabelama 4.4 i 4.5 je dat pregled prihoda i rashoda (troškova) ove flote koja je dodeljena navedenim zadacima.

U tabeli 4.6 je dat uvid u dobit po trajektnom brodu koji ostvare realizujući navedene zahteve.

Tabela 4.4. Rezultati prihoda brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika

Prihodi (\$)	FFT1	FFT2		FFT3	
	1A	2A	2B	3A	3B
TL 1*	172800.00	79200.00	74400.00	61200.00	64800.00
TL 2*	168000.00	79200.00	76800.00	63000.00	63000.00
TL 3*	168000.00	79200.00	74400.00	61200.00	63000.00
TL 4*	172800.00	79200.00	74400.00	63000.00	63000.00

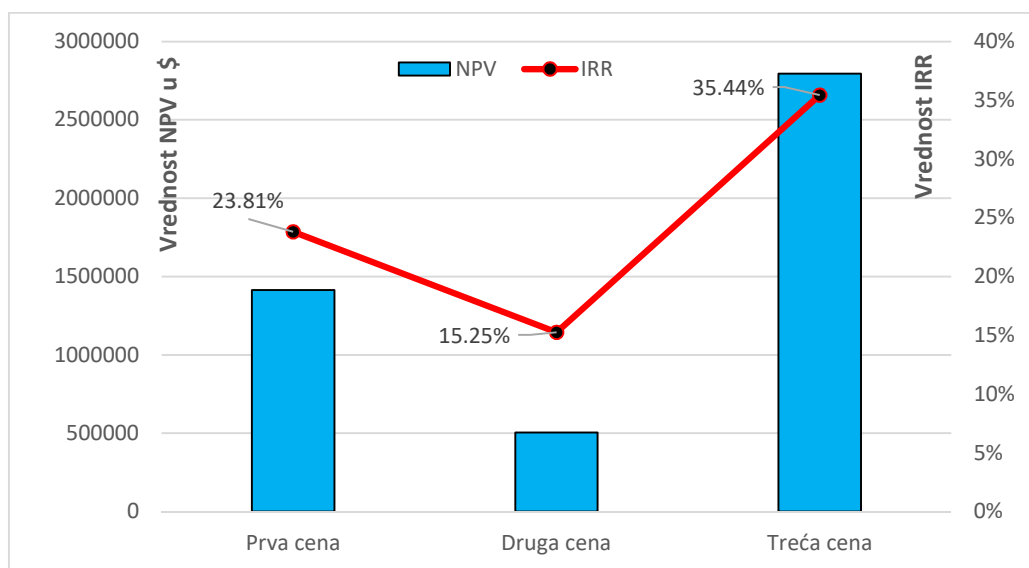
Tabela 4.5. Rezultati rashoda brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika

Rashodi (\$)	FFT1	FFT2		FFT3	
	1A	2A	2B	3A	3B
TL 1*	36000.00	19800.00	18600.00	18700.00	19800.00
TL 2*	29750.00	18150.00	17600.00	15750.00	15750.00
TL 3*	28000.00	16500.00	15500.00	13600.00	14000.00
TL 4*	39600.00	21450.00	20150.00	21000.00	21000.00

Tabela 4.6. Rezultati dobiti brodova trajektne flote za prevoz 150 hiljada putnika

	FFT1	FFT2		FFT3	
	1A	2A	2B	3A	3B
Dobit	548250.00	240900.00	228150.00	179350.00	183250.00
Ukupno	1379900.00				

S obzirom na ulazne podatke u tabelama 4.4-4.6 koji su dobijeni za šestu godinu, isti postupak je urađen i za prethodne godine, tako da su dobijeni rezultati koji se dalje koriste pri proračunu metoda isplativosti projekta. Ovde je dat primer u slučaju primene prve cene prevoza ovim brodom od 12 \$. Zamenjujući ulazne vrednosti, neto sadašnja vrednost projekta (*NPV*) prema izrazu (4.3) iznosi 1413062.19 \$, gde su novčani tokovi ($B(t) - C(t)$) u svakoj od šest godina (t): 691500 \$, 784100 \$, 921200 \$, 1058100 \$, 1196100 \$ i 1379900 \$, redom, pri diskontnoj stopi (d) od 10%. Investicija u nabavku odgovarajućih trajektnih brodova je 2.8 miliona \$. Koristeći funkciju *IRR* u MS Excel-u, a prema izrazu (4.4), dobijaju se vrednosti za diskontnu stopu pri čemu je $NPV=0$ za razmatrani period i to: 23.81% u odnosu na cenu prevoza putnika od 12 \$; 15.25% za cenu prevoza od 10 \$; i 35.44% za cenu prevoza od 15 \$. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 4.5.



Slika 4.5. Neto sadašnja vrednost (*NPV*) i interna stopa povrata (*IRR*)

Konačno, indeks profitabilnosti projekta primenom izraza (4.5) iznosi $BCR = 2.15$. Iz dobijenih podataka sa slike 4.5 u slučaju prve cene prevoza dobit je oko 1.4 miliona \$ nakon šestogodišnjeg perioda, 505 hiljada \$ u slučaju druge cene prevoza po putniku i 2.8 miliona \$ kada se razmatra treća cena prevoza putnika. Isto tako, vrednosti interne stope povrata su veće od kamatne stope od 10% koja je ovde primenjena. Na osnovu dobijenih podataka može se utvrditi da je projekat uvođenja trajektne flote za prevoz putnika u regionu ekonomski opravdan, tačnije, očekivano je da se u narednom periodu posluje pozitivno. Sa druge strane izračunat je i indeks profitabilnosti BCR i dobijeni rezultati su 2.15, 1.69 i 2.86 za prvu, drugu i treću cenu prevoza, redom. Svakako da najkompletniju sliku o opravdanosti nekog projekta daje rezultat neto sadašnje vrednosti, jer predstavlja apsolutni iznos za koji će trajektna flota povećati vrednost ukoliko dođe do realizacije projekta. Kroz analizu osetljivosti projekta u odnosu na ključnu promenljivu, koja je u ovom slučaju cena prevoza po putniku, može se ispitati i sama održivost projekta, pa je zato pored trenutne cene prevoza u regionu, razmatran slučaj i niže cene (od 10 \$), tako da je i u tom slučaju projekat i više nego opravdan.

5. MODELI ZA PROCENU NAVIGACIONOG RIZIKA I EMISIJE IZDUVNIH GASOVA SA BRODOVA U PUTNIČKIM LUKAMA

5.1. Definisanje rizika u pomorskom transportu

Osnovni element sistema pomorskog transporta, brod, smatra se sposobnim za plovidbu ako ispunjava uslove za svoju sigurnost. Iako ne postoji utvrđena mera sigurnosti broda, primenom važećih propisa i utvrđenih standarda, moguće je postići odgovarajući stepen sigurnosti broda i razmatranog plovnog područja (Hrle i drugi (2006, 2007); Tauzović (1987); Tetley i Calcutt (1986, 2001)). Iz tog razloga je sigurnost broda u plovidbi ili tokom njegovog boravka u luci veoma značajna, naročito kada je neophodno obezbediti sve uslove kako bi se isti u što manjoj meri izložio potencijalnim opasnostima i rizicima. Prema tome, ispunjavajući uslove sigurne plovidbe, brodovi su u mogućnosti da savladaju opasnosti na koje mogu naići naročito u oblastima uskog morskog pojasa u kojem je dominantan prevoz putnika.

Sigurnost plovidbe naročito dolazi do izražaja kod putničkih brodova koji moraju biti sposobni da izbegnu uslove tj. situacije koje mogu dovesti do ozlede ili gubitka života na moru, kao i oštećenje brodske opreme. Shodno tome, pojam sigurnosti se vezuje za pojam opasnosti i pojam rizika. Prvi se odnosi na skup uslova koji mogu prouzrokovati povrede ili smrt ljudi kao i oštećenja ili gubitak opreme, dok se pod pojmom rizika podrazumeva verovatnoća dešavanja određenih događaja i njihovih posledica u toku specificiranog vremenskog perioda.

Da bi se smanjila mogućnost pojave ovih negativnih događaja, potrebno je minimizirati mogućnosti nastanka navigacionog rizika tokom kretanja broda u plovidbi i prilikom njegovog boravka u luci. Sigurnost sistema pomorskog saobraćaja, uopšteno, sigurnost broda u širem smislu, može biti podeljena na *sigurnost broda u plovidbi* i *sigurnost plovidbe*. Zadovoljenje uslova sigurnosti broda u plovidbi podrazumeva njegovu sposobnost za plovidbu, dok se sigurnost plovidbe definiše kao skup elemenata

koji tu plovidbu čine sigurnom. Prema tome, sigurnost plovidbe se odnosi na sigurnost plovnog puta, odnosno plovnog područja kroz koje se brod kreće. Na međunarodnom nivou, sigurnost plovidbe je normirana Međunarodnom Konvencijom o zaštiti ljudskog života na moru (eng. *Safety of Life at Sea - SOLAS*), dok postoje i nacionalni propisi koji specificiraju odredbe sigurnosti plovidbe, plovnog puta, tehničkog nadzora, pilotske službe, službe za spasavanje itd.

U ovom poglavlju se primenjuje model koji predstavlja računanje očekivane vrednosti navigacionog rizika u situaciji kada je pored prometa koji ostvaruju brodovi za kružna putovanja morem uključen i trajektni servis kojeg čine brodovi koji razvoze putnike do obližnjih luka. Da bi se izračunala očekivana vrednost navigacionog rizika, potrebno je prikupiti odgovarajuće ulazne podatke kada je u pitanju promet brodova i putnika, kao i pretpostaviti nivo gustine saobraćaja u samom zalivu u određenom vremenskom periodu. Prema tome, cilj ovog istraživanja se odnosi na identifikaciju potencijalnih rizika za obavljanje pomorskih transportnih aktivnosti. Uz pomoć automatskog identifikacionog sistema (eng. *Automatic Identification System*) i podataka o intenzitetu pomorskog saobraćaja i dinamici obavljanja istog (AIS, 2016), nastoje se kvantifikovati mogućnosti za procenu vrednosti navigacionog rizika kada se uzimaju u obzir različiti rizični događaji koji bi izazvali negativne posledice (gubitke života), i to: sudar brodova, preticanje brodova, nasukavanje brodova, greške u navigaciji, loši vremenski uslovi i kvar na brodu. Za proračun očekivane vrednosti navigacionog rizika koristi se procena eksperata uz postojanje podataka o frekvenciji i posledicama (gubicima) rizičnog događaja u toku jedne godine. Na osnovu toga, moguće je definisati pojedine parametre neophodne za procenu očekivane vrednosti rizika koja je izražena u broju putnika u jednoj godini koji su izloženi određenoj opasnosti.

Nesrećne situacije se u pomorskom transportu posmatraju sa više aspekata. Tako se pojava sudara brodova, sa matematičkog stanovišta, u literaturi često opisuje geometrijskom raspodelom (Debnath i Chin 2010; Li i drugi, 2012; Montewka i drugi, 2010; Pedersen 2002, 2010; Seong i drugi 2012; Tan i Otay, 1999). Prema analizi koja je urađena od strane Obalske straže SAD-a (USCG, 1999) razmatran je veći broj opasnosti kojima se izlažu brodovi u plovidbi, pri čemu se vrši klasifikacija rizičnih događaja.

Međutim, neka istraživanja pokazuju da se rangiranje opasnosti na moru treba posmatrati na drugačiji način u slučajevima postojanja niskog intenziteta saobraćaja (Li i drugi, 2012). Fujii i Tanaka (1971) i Skenderović i Bonato (2002) u svojim istraživanjima ističu da postoji različita klasifikacija područja plovidbe za izbegavanje sudara na moru.

Sa druge strane, kvantifikacija rizika obuhvata nekoliko segmenata, i to: identifikaciju rizičnog događaja, određivanje verovatnoće rizičnog događaja, određivanje mere gubitka koju bi ovaj događaj proizveo i određivanje stepena rizika.

Rizik je stanje u kome postoji mogućnost negativnog odstupanja u odnosu na željenu implementaciju ishoda (Savić i Stanković, 2012). Mogućnost pojave nepreferentne promene zahtevanog kvaliteta sistema je verovatnoća rizičnog događaja u plovidbi. U pomorstvu se rizični događaji sa većom verovatnoćom smatraju rizičnijim, pa se često prisutan termin stepen rizika odnosi upravo na verovatnoću rizičnog događaja. Mera mogućih neželjenih odstupanja od zahtevanog kvaliteta predstavlja meru gubitka (gubitak novčanih ili nekih drugih jedinica). Za povezivanje verovatnoće i mere gubitka koristi se pojam očekivane vrednosti rizika. Očekivana vrednost navigacionog rizika (R_n) predstavlja proizvod verovatnoće rizičnog događaja (P_{re}) i mere njime izazvanog gubitka (L) (Savić i Stanković, 2012).

$$R_n = P_{re} \cdot L \quad (5.1)$$

Umesto očekivane vrednosti rizika u praksi se često koristi termin rizik. Međutim, treba praviti razliku između rizika kao stanja sistema iz koga može da proistekne gubitak i očekivane vrednosti rizika kao mere rizika. Termin *opasnost* se često zamenjuje ili čak poistovećuje sa terminom *hazard*. Takođe je prisutna i tendencija zamene termina rizik i hazard. Opasnost u plovidbi predstavlja stanje sistema u kome postoji mogućnost gubitka kontrole nad upravljanjem brodom i praćena je pojavom i razvojem faktora opasnosti. Ukoliko je gubitak u plovidbi sigurna posledica pojave, razvoja i distribucije faktora opasnosti, ne može se govoriti o riziku. Rizik postoji samo ukoliko postoji izloženost ljudi, objekata, procesa i/ili prirode delovanju faktora opasnosti, a da pritom gubitak nije neizbežan. On se podrazumeva sa određenom verovatnoćom, ali isto tako postoji i

određena verovatnoća da do gubitka neće doći. Sa druge strane, stanje sistema koje formira ili povećava verovatnoću gubitka je hazard. Reč je o opasnosti koja ne može da se izbegne. Kvantifikacija očekivane vrednosti navigacionog rizika prema izrazu (5.1) predstavlja meru rizika. Ali, ona nije dovoljna da odredi nivo rizične situacije, tačnije, da identifikuje da li je reč o situaciji male verovatnoće sa implikacijama velikog gubitka, ili je reč o situaciji velike verovatnoće sa posledicama malog gubitka (Savić i Stanković, 2012). Tako je potencijalni broj nesreća na brodu baziran na: pretpostavljenoj geometrijskoj raspodeli prometa brodova u području plovidbe i na pretpostavci da uzrok leži u *slepoj navigaciji*. Koliko je značajna statistička analiza za definisanje uzorka rizičnih događaja, opisano je u istraživanju Gluver i Olsen (1998).

5.2. Model procene navigacionog rizika

Sigurna navigacija naročito u području uskog kanala je neophodan preduslov za realizaciju sigurnog pomorskog poduhvata. Model kvantitativne procene navigacionog rizika je itekako istraživana oblast u poslednjih nekoliko godina. Prema izveštajima Međunarodne pomorske organizacije (IMO, 1997), usvojeni su pojedini tehnički termini, kao što su: rizik, nesreća, posledica, frekvencija, hazard, sudar, kontakt, nasukavanje, požar, eksplozija, itd. Stepenn zagušenja pomorskog saobraćaja je obično rezultat nivoa i gustine transportnih aktivnosti u području plovidbe.

Kvantifikacija navigacionog rizika za svaki rizični događaj podrazumeva: identifikaciju rizičnog događaja, određivanje verovatnoće rizičnog događaja, određivanje mere gubitka koju bi ovaj događaj proizveo i određivanje mere rizika. Nakon definisanja rizičnog događaja, potrebno je odrediti njegovu verovatnoću i kvantifikovati gubitak koji taj događaj može da izazove. Prema tome, reč je o osnovnim pokazateljima navigacionog rizika. Oni su obično u literaturi poznati kao verovatnoća rizičnog događaja tj. verovatnoća da će se u posmatranom vremenskom periodu realizovati bar jedan rizičan događaj i matematičko očekivanje veličine gubitka što predstavlja najverovatniju veličinu gubitka nastalog kao posledica rizičnog događaja u toku posmatranog vremenskog perioda (Savić i Stanković, 2012).

Ukoliko kod istraživanja navedeni podaci nisu poznati, mogu se koristiti neki drugi pokazatelji, kao što su: intenzitet rizičnog događaja (verovatnoća da će se u sistemu u kome nije bilo rizičnih događaja do određenog trenutka isti realizovati), frekvencija (učestalost) rizičnog događaja, srednje vreme do trenutka realizacije rizičnog događaja ili između više rizičnih događaja, kao i veličina ulaganja za sprečavanje rizičnih događaja ili ublažavanje posledica ukoliko su se isti već realizovali. Najznačajnije metodologije određivanja stepena rizika su bazirane na statističkim pokazateljima i na osnovu mišljenja eksperata iz razmatranih oblasti (Savić i Stanković, 2012). Prva se zasniva na teoriji verovatnoće i statistike, a druga na modelu ekspertnih ocena. Ako se raspolože dovoljnim brojem verodostojnih podataka o rizičnim događajima u posmatranom plovbenom području, gubicima i ulaganjima za sprečavanje rizičnih događaja, tj. za smanjivanje gubitaka u slučaju njihove realizacije, onda se koristi metoda verovatnoće (Savić i Stanković, 2012).

Verovatnoća rizičnog događaja P_{re} predstavlja relativnu frekvenciju rizičnih događaja u plovidbi (Savić i Stanković, 2012; Škurić i Maraš, 2017)

$$P_{re} = \frac{R_e}{n_{re}} \quad (5.2)$$

gde je R_e broj realizovanih rizičnih događaja u plovidbi istog tipa u toku posmatranog vremenskog perioda, a n_{re} broj mogućih realizacija rizičnog događaja u istom vremenskom periodu.

Mera gubitka (kao npr. broj putnika koji su izloženi rizičnom događaju) u plovbenom području se određuje kao srednja vrednost broja putnika koji učestvuju u rizičnom događaju istog tipa (npr. pri sudaru brodova, preticanju, nasukavanju brodova, itd.) (Savić i Stanković, 2012):

$$L = \frac{1}{R_e} \sum_{j=1}^{R_e} L_j \quad (5.3)$$

gde je L_j mera gubitka izazvanog j -tim rizičnim događajem u plovidbi.

Intenzitet rizičnog događaja u plovidbi se određuje na osnovu sledećeg izraza (Savić i Stanković, 2012):

$$\lambda_{re} = \frac{R_e}{(n_{re} - R_e)\Delta t} \quad (5.4)$$

gde je Δt vremenski period koji se posmatra.

Konačno, frekvencija (učestalost) rizičnog događaja u plovidbi se dobija prema izrazu (Savić i Stanković, 2012):

$$f_{re} = \frac{R_e}{n_{re}\Delta t} \quad (5.5)$$

Srednje vreme realizacije rizičnih događaja (u plovidbi) istog tipa se računa kao srednja vrednost vremena do realizacije rizičnih događaja istog tipa (t_j) (Savić i Stanković, 2012):

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_j \quad (5.6)$$

Srednja vrednost veličine ulaganja u sprečavanje realizacije rizičnog događaja u plovidbi predstavlja srednju vrednost ekonomskih i tehničkih ulaganja za sprečavanje rizičnih događaja (i_j) ili za smanjivanje gubitaka realizovanih događaja istog tipa (Savić i Stanković, 2012):

$$\bar{i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n i_j \quad (5.7)$$

Međutim, u ovom istraživanju će se primeniti model ekspertnih ocena prema metodologiji objašnjenom u knjizi Savić i Stanković (2012) i mišljenja dobijenih od više stručnjaka (kapetana duge plovidbe i pilota) na osnovu čijeg iskustva, znanja i intuicije je moguće modelirati navigacioni rizik u Bokokotorskom zalivu. Pored podataka o dolascima putničkih brodova, ovde se pretpostavlja da lokalni pomorski saobraćaj u zalivu obavlja trajektna flota koja razvozi i putnike sa brodova za kružna putovanja morem do obližnjih luka. Navedeni model se primenjuje iz razloga nedostatka dovoljnih informacija o verovatnoći navigacionog rizika, te se stoga uz konsultacije sa ekspertima stvara slika o najverovatnijoj realizaciji rizičnih događaja.

Na osnovu istraživanja obavljenih u radovima Sulaiman i drugih (2011), Zaman i drugi (2015), kao i prema procenama eksperata, može se izvršiti klasifikacija frekvencija rizičnih događaja, i to na osnovu pokazatelja datih u tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Kvantifikacija frekvencije rizičnih događaja (Zaman i drugi, 2015)

Klasa	Opis	Verovatnoća rizičnog događaja
Zanemarljiva	Ređe od jednom u 1000 godina	$P_{re} \leq 0.001$
Mala	Jednom između 100 i 1000 godina	$0.001 \leq P_{re} \leq 0.01$
Povremena	Jednom između 10 i 100 godina	$0.01 \leq P_{re} \leq 0.1$
Verovatna	Jednom između 1 i 10 godina	$0.1 \leq P_{re} \leq 1$
Učestala	Jednom ili više puta u toku godine	$P_{re} = 1$

U ovom slučaju eksperti daju mišljenja o frekvenciji realizacije rizičnih događaja, a zatim i o merama gubitaka izazvanih njihovom realizacijom. Na taj način se dolazi do očekivane vrednosti navigacionog rizika koja se u ovom slučaju odnosi na broj putnika koji mogu biti izloženi riziku u toku posmatranog perioda. Međutim, pre obrade rezultata

ocenjivanja, neophodno je ispitati njihovu međusobnu saglasnost kako bi dobijeni rezultati dobili na značaju. Saglasnost mišljenja eksperata se određuje pomoću koeficijenta konkordacije.

Na osnovu mišljenja eksperata vrši se rangiranje njihovih ocena, posebno za frekvencije rizičnih događaja, a posebno za prouzrokovane gubitke. Najmanji rang (rang 1) se dodeljuje događaju sa najmanjom frekvencijom realizacije kao i događaju koji izaziva najmanji gubitak. U slučaju da više rizičnih događaja imaju istu frekvenciju ili izazivaju iste gubitke, njima se dodeljuje isti rang. Rangiranje koje ne sadrži iste rangove naziva se strogo rangiranje, dok ono koje sadrži iste rangove nazivamo slobodno rangiranje. Prema Цхадая i Подосенова (2008) i Savić i Stanković (2012) koeficijent konkordacije za strogo rangiranje W_d je jednak količniku ukupne vrednosti rangiranja dobijenih od strane eksperata (C) i ukupne vrednosti mogućeg rangiranja (C_m):

$$W_d = \frac{C}{C_m} \quad (5.8)$$

pri čemu je

$$C = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2 \quad (5.9)$$

i

$$C_m = \frac{m^2 n}{12} (n^2 - 1) \quad (5.10)$$

gde je n broj rizičnih događaja, m broj eksperata u analizi i r_{ij} rang koji je i -ti ekspert dodelio j -tom rizičnom događaju. Izraz (5.10) dobija se uz pretpostavku da su eksperti usklađeni u svojim ocenama rizičnih događaja primenom formula za sumiranje algebarskih nizova. Očigledno je da ukupna vrednost mogućeg rangiranja zavisi od broja rizičnih događaja i broja eksperata. U slučaju slobodnog rangiranja, koeficijent konkordacije W_f je (Цхадая i Подосенова, 2008; Savić i Stanković 2012):

$$W_f = \frac{C}{C'_m} \quad (5.11)$$

gde je ukupna vrednost mogućeg rangiranja jednaka:

$$C'_m = \frac{m^2 n}{12} (n^2 - 1) - \frac{m}{12} \sum_{i=1}^m \left(\sum_{k=1}^{S_i} (s_k^3 - s_k) \right) \quad (5.12)$$

pri čemu je s_k broj jednakih rangova u k -toj grupi u rangiranju i -tog eksperta; S_i broj grupa jednakih rangova u rangiranju i -tog eksperta.

Ukoliko je koeficijent konkordacije W_d veći od 0.7 smatra se da je postignut konsenzus između eksperata u pogledu davanja njihovih ocena u vezi navigacionog rizika. U suprotnom konsenzus ne postoji i potrebno je nastaviti postupak evaluacije (Savić, 2013). Nakon evaluacije saglasnosti mišljenja eksperata, određuju se najverovatnije vrednosti frekvencija i gubitaka kod razmatranih rizičnih događaja, kao srednje vrednosti ocena svih eksperata. Na osnovu toga, određuje se očekivana vrednost rizika (Цхадая i Подосенова, 2008; Savić i Stanković, 2012):

$$R = \sum_{j=1}^n \overline{f_{re_j}} \overline{L_j} \quad (5.13)$$

gde je $\overline{f_{re_j}}$ srednja vrednost frekvencije j -tog rizičnog događaja, a $\overline{L_j}$ srednja vrednost gubitaka izazvanih realizacijom j -tog rizičnog događaja.

5.3. Plovidbeno područje Bokotorskog zaliva

Tržište brodova za kružna putovanja morem (eng. *cruise ships*) u Sredozemnom moru predstavlja deo kompleksnog okruženja uz podatak da je reč o najbrže rastućem

turističkom sektoru od 1980. godine i takođe jednom od najdinamičnijih sektora u svetskoj ekonomiji. Prednost ove privredne delatnosti karakteriše sve veći odziv da ljudi svoje slobodno vreme provode u obilascima luka savremenim putničkim brodovima koji nude različite turističke sadržaje. Putničke luke omogućavaju putnicima ugodan boravak na najatraktivnijim svetskim destinacijama. Poslednju deceniju, jedna od njih je i Luka Kotor u Crnoj Gori koja predstavlja nezaobilaznu destinaciju za posećivanje kada je u pitanju plovidba ovih brodova morem od Venecije do Pireja i obratno (Kofjač i drugi, 2013; Dragović i drugi 2014, 2018; Škurić i Maraš, 2016; Škurić i drugi, 2020a).

Kako se povećava broj pomorskih aktivnosti u Bokokotorskom zalivu, zbog visokog prometa brodova za kružna putovanja morem i intenzivnijeg korišćenja trajektnog servisa za turiste, ovde se razmatra mogućnost da se brodovima opslužuju i lokacije u unutrašnjim delovima zaliva. U ovoj situaciji bi se intenzivirala uloga manjih trajektnih brodova koji razvoze putnike u turističke svrhe koji dolaze u Luku Kotor brodovima za kružna putovanja morem. Izbeglo bi se izlaganje velikih brodova za kružna putovanja morem potencijalnim rizicima što bi uticalo da se smanji verovatnoća realizacije rizičnog događaja u plovidbenom području. Izlazak na tržište novih destinacija za putničke brodove sa neizbežnim turističkim potencijalom, predstavlja dobar podsticaj za razvoj lokalnog pomorskog saobraćaja. Poslednjih godina Jadransko more je prepoznato kao atraktivan region u kojem se opslužuje veliki broj putničkih brodova, tako da je mnogo luka preraslo u nove turističke destinacije (Rodrigue i Notteboom, 2012). Kada je u pitanju Jadran, najposećenije zemlje su Italija i Hrvatska i luke Venecija i Dubrovnik. U prethodnih petnaest godina brodovi za kružna putovanja morem posećuju Luku Kotor koja je pod zaštitom Organizacije Ujedinjenih nacija za obrazovanje, nauku i kulturu (skraćeno: UNESCO). Postoje i dodatne činjenice koje opravdavaju ovu luku da postane jedna od vodećih na Jadranu. Luka Kotor je, zbog svoje pozicije i tehničko-tehnoloških karakteristika, otvorena za pomorski saobraćaj tokom cele godine (Kofjač i drugi, 2013; Dragović i drugi 2014, 2018).

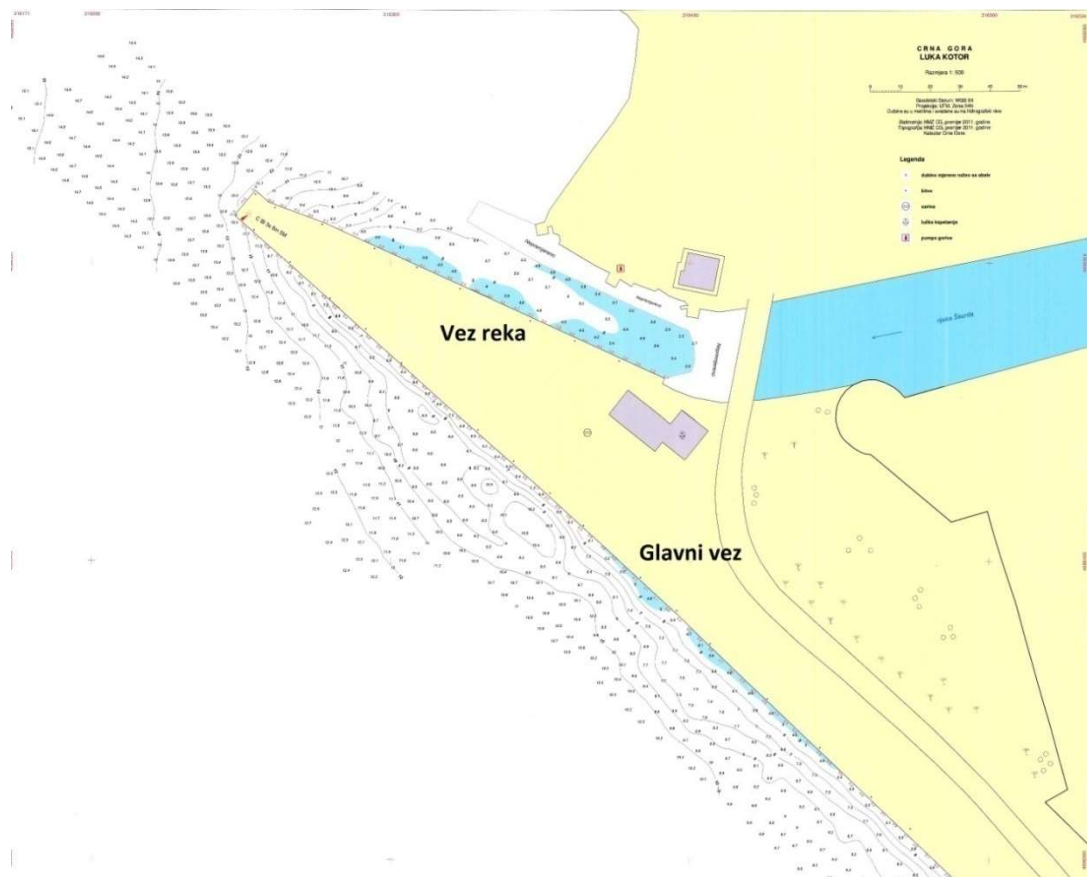
Bokokotorski zaliv čine četiri manja: Kotorski, Risanski, Tivatski i Hercegnovski. Prilikom uplovljenja, brodovi prolaze kroz Hercegnovski zaliv. Uzanim plovnim putem kroz Verige se dolazi do unutrašnjih zaliva, a to su Risanski i Kotorski na čijoj

najudaljenijoj tački se nalazi Luka Kotor. Turisti su aktivno posećivali ovu luku još na početku sedamdesetih godina prošlog veka kada su dolazili prvi brodovi za kružna putovanja morem. Usled političke situacije, luka nije značajno investirala u svoj razvoj i infrastrukturu, već se orijentisala ka pomorskom turizmu i opsluživanju brodova za kružna putovanja morem, manjih trajektnih brodova i jahti. U proseku je brodovima potrebno dva sata da dođu do Luke Kotor od momenta kada uđu u Bokokotorski zaliv.

Pilotska stanica se nalazi u Luci Zelenika, 12.3 nautičkih milja udaljenoj od Luke Kotor. Na tom mestu lučki pilot se ukrcava na brod i preuzima upravljanje do luke. Maksimalna brzina brodova u zalivu je 12 čvorova, a od trenutka kada prođu pilotsku stanicu, prosečna brzina je 8 čvorova. Već u Kotorskom zalivu brzina plovidbe broda ne prelazi 4 čvora. U zalivu nisu primećene izražajne fluktuacije u nivou površinskog sloja vode. Maksimalno vreme manevrisanja brodova duž operativne obale u luci je do 30 minuta (i to za brodove većih dimenzija). Prosečan gaz u Kotorskom zalivu je od 15 do 18 metara (Kofjač i drugi, 2013; Dragović i drugi 2014, 2018; Škurić i Maras, 2016).

5.3.1. Tehničko-tehnološke karakteristike Luke Kotor

Na slici 5.1 je prikazan raspored prostora i opreme u Luci Kotor. Kao što se može primetiti, luka raspolaže glavnim vezom na kojem se mogu opslužiti brodovi do 280 metara dužine i gaza do 8 metara. Pored toga, luka poseduje i vez reku koji služi za prijem manjih brodova, dužine do 125 metara i gaza do 4.5 metra. U neprednoj blizini luke, tačnije na udaljenosti od 0.28 i 1.1 nautičkih milja, nalaze se dva sidrišta koja takođe služe za opsluživanje brodova za kružna putovanja morem, naročito u periodu povećanog saobraćaja ovih brodova tokom letnjih meseci, kada je učestala situacija da prosečno boravi četiri i više brodova u Kotorskom zalivu tokom jednog dana. Za brodove koji se opslužuju na sidrištu, primenjuje se tzv. *tendering servis* koji podrazumeva angažovanje manjih brodova (najčešće onih za spasavanje) kapaciteta do 50 putnika koji razvoze putnike od broda do operativne obale i nazad (Dragović i drugi, 2014).



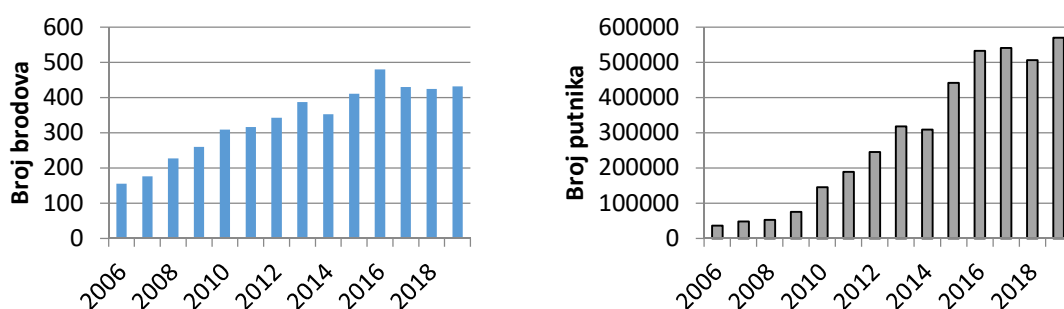
Slika 5.1. Raspored opreme i prostora u Luci Kotor
(prilagođeno prema: Luka Kotor AD, 2015)

Brodovi za kružna putovanja morem mogu biti opsluženi na glavnom vezu, na vezu reci i na dva sidrišta u Kotorskom zalivu. Ukoliko su glavni vez i vez reka zauzeti, brodovi se dalje preusmeravaju na preostala sidrišta, dok je bilo situacija da naredni brod usporava uplovljenje u zaliv dok se ne oslobodi vez ili sidrište. Oba sidrišta su veoma pristupačna i nema velikih promena u površinskom nivou vode. Štaviše, sidrišta nemaju ograničenja u pogledu dužine, gaza i kapaciteta.

Sa sidrišta se putnici prevoze do luke uz pomoć brodova za spasavanje i privatnih trajektnih brodova koji su predviđeni samo sa prevoz putnika u zalivu. Tokom godine, ima retkih situacija kada vremenski uslovi ne omogućavaju siguran saobraćaj ovih brodova, tako da se navedena plovidba na vreme otkazuje (Dragović i drugi, 2014).

5.3.2. Razvoj pomorskog saobraćaja u Bokokotorskom zalivu

Luka Kotor beleži rast prometa brodova za kružna putovanja morem i putnika od 2006. do 2019. godine. Prema statističkim podacima, sa skromnih 155 uplovljenja brodova za kružna putovanja morem ostvarenih u 2006. godini, u 2016. godini je luku posetilo 480 brodova i preko 530 hiljada putnika (slika 5.2). U razmatranom periodu, ukupan broj brodova za kružna putovanja morem koji su bili opsluženi u luci je iznosio 4703, dok je promet putnika u istom periodu bio preko 4 miliona. Najfrekventniji meseci tokom godine su jul, avgust, septembar i oktobar. U 2015. godini je ostvaren jedan od rekorda kada je u pitanju prosečan promet brodova na mesečnom nivou, jer je u septembru mesecu opslužen 71 brod. Nekada se dnevno opsluži i do 5 ili 6 brodova. Podaci ukazuju na činjenicu da je prosečan broj putnika po brodu u 2006. godini bio 235, tokom 2011. godine 600, a 2019. godine 1319. Ovo govori u prilog tendenciji povećanja prometa brodova većih dimenzija i putnika u samom zalivu (MONSTAT, 2020; Luka Kotor, 2020). Kada je u pitanju promet brodova za trajektni prevoz putnika u zalivu, ne postoje zvanični statistički podaci.

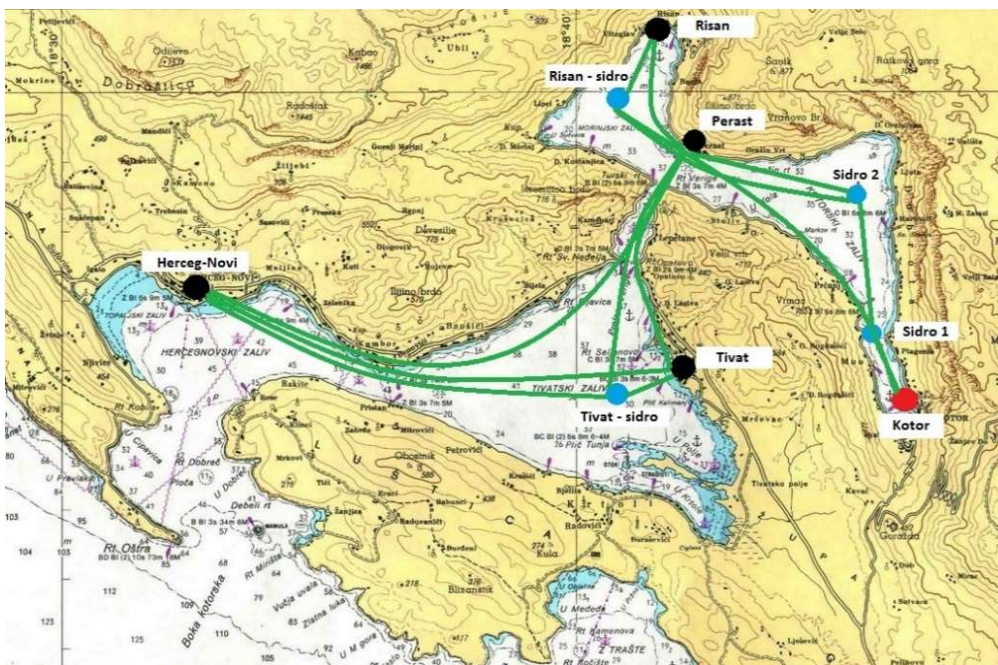


Slika 5.2. Promet brodova za kružna putovanja morem i putnika u Luci Kotor od 2006. do 2019. godine (MONSTAT, 2020)

Međutim, bez obzira na stabilan razvoj pomorskog turizma u zalivu, jedan od velikih problema predstavlja lokalni drumski transport. Intenzivan rast broja putničkih automobila kao i nedovoljan razvoj javnog gradskog prevoza dovodi do velikih zastoja u prometu putnika i robe zbog ograničene putne infrastrukture. Ovo je naročito izražajno u

letnjem periodu kada dolazi do povećanog broja dolazaka turista i intenzivnijeg saobraćaja brodova za kružna putovanja morem i trajektnih brodova. Osnovna karakteristika letnje sezone je koncentracija velikog broja turista u Kotorskom zalivu. Na osnovu ovih zapažanja, postoje razne inicijative lokalnih samouprava u zalivu za uspostavljanje redovnog pomorskog saobraćaja za meštane, dok bi se trajektni brodovi koristili i za prevoz putnika sa brodova za kružna putovanja i turista koji su došli drumskim prevoznim sredstvima u zaliv kojima bi se ponudili različiti sadržaji za odmor i zabavu (Expeditio, Blue Coach, 2013).

Razvoj lokalnog pomorskog saobraćaja može uticati na stagnaciju rasta drumskog saobraćaja, povratiti balans između različitih vidova transporta, smanjiti uska grla i doprineti održivom razvoju. Konkretno, kroz istoriju razvoja Boke Kotorske, pomorski prevoz je imao ogroman značaj za život i razvoj ovog podneblja. Na slici 5.3 su prikazane neke od varijantni plovidbenih linija mogućeg lokalnog pomorskog saobraćaja, a glavni korisnici ovog servisa bi bili meštani i turisti. Na taj način bi zaživeo pomorski saobraćaj na kratkim udaljenostima (Expeditio, Blue Coach, 2013).



Slika 5.3. Primeri plovidbenih linija lokalnog pomorskog saobraćaja u Bokokotorskom zalivu (prilagođeno od strane autora)

Inicijativa za smanjenje zagušenosti pomorskog saobraćaja u Kotorskom zalivu bi se mogla realizovati, naročito kada bi se brodovi za kružna putovanja morem pored Kotorskog zaliva, opsluživali u Tivatskom i Risanskom na sidrištima kao što je prikazano na slici 5.3. Reč je o praktičnom rešenju da se na isplativ i opravdan način brodovi za kružna putovanja morem opsluže na dodatnim lokacijama u zalivu, a putnici trajektnim servisom obilaze atraktivna mesta. Međutim, za realizaciju ove ideje, neophodno je imati na raspolaganju adekvatnu flotu ovih trajektnih brodova i napraviti analizu procene isplativosti uspostavljanja lokalnog redovnog trajektnog servisa.

5.4. Numerički primer

U ovom poglavlju je predstavljen numerički primer koji se odnosi na proračun očekivane vrednosti navigacionog rizika u Luci Kotor, tačnije u Kotorskom zalivu na osnovu podataka ostvarenog prometa brodova i putnika tokom jedne godine. S obzirom da se brodovi za kružna putovanja morem opslužuju na glavnom vezu, vezu reka ili na sidrištima u Kotorskom zalivu, dok se trajektni brodovi u letnjim mesecima opslužuju i na dodatnim pristaništima u zalivu, intenzitet saobraćaja tokom ovog dela godine je relativno velik. Uz podatak da je frekvencija putničkog pomorskog saobraćaja očigledna tokom desetočasovnog dnevnog perioda u turističkoj sezoni, polazi se od pretpostavke da je ukupan broj uplovljenja i isplovljenja putničkih brodova u jednoj godini bio oko 2000). Gustina saobraćaja bi u Kotorskom zalivu iznosila 0.31 brod na km^2 , računajući da prosečna brzina brodova u plovidbi nije prelazila 3.5 čvora (Škurić i Maraš, 2017).

Za proračun očekivane vrednosti rizika kada su u pitanju rizični događaji u Kotorskom zalivu, polazi se od mišljenja eksperata (intervjuisana su tri eksperta, označeni sa e_1 , e_2 , e_3 , redom), koji su dali nezavisno svoja mišljenja u odnosu na frekvenciju rizičnih događaja u godini (broj rizičnih događaja) za šest različitih kategorija u toku jedne godine (tabela 5.2) i u odnosu na posledice rizičnih događaja u godini (broj putnika koji su izloženi rizičnim događajima) za šest različitih kategorija u toku jedne godine (tabela 5.3). Rizični događaj koji bi izazvali negativne posledice (gubitke života) su: sudar

brodova (r_{e1}), preticanje brodova (r_{e2}), nasukavanje brodova (r_{e3}), greške u navigaciji brodova (r_{e4}), loši vremenski uslovi (r_{e5}) i kvar na brodu (r_{e6}) (Škurić i Maraš, 2017).

Tabela 5.2. Ocena eksperata u odnosu na frekvenciju rizičnih događaja (broj događaja u godini) (Škurić i Maraš, 2017)

	f_{re1}	f_{re2}	f_{re3}	f_{re4}	f_{re5}	f_{re6}
e_1	14	13	12	15	11	16
e_2	15	12	12	12	11	13
e_3	15	11	14	14	12	16

Tabela 5.3. Ocena eksperata u odnosu na posledice rizičnih događaja (broj putnika u godini) (Škurić i Maraš, 2017)

	L_{re1}	L_{re2}	L_{re3}	L_{re4}	L_{re5}	L_{re6}
e_1	50	10	260	100	5	90
e_2	73	13	270	50	5	120
e_3	50	15	395	50	5	75

Nakon računanja koeficijenta konkordacije za njihovo rangiranje datih ocena (prema izrazima (5.8-5.12)), računa se očekivana vrednost rizika (prema izrazu (5.13)) koja je u ovom slučaju izražena u broju putnika po godini. Nakon toga, izračunata je frekvencija rizičnih događaja, a takođe je dobijena vrednost između realizacije dva rizična događaja. Rangiranje ocena i proračun očekivane vrednosti rizika koji se odnose na frekvencije i posledice (gubici) rizičnih događaja u Kotorskom zalivu sastoji se iz nekoliko koraka (Savić i Stanković, 2012):

1. Utvrđuje se da li u procenama svakog eksperta ponaosob postoje iste frekvencije ili gubici rizičnih događaja. U slučaju da ih nema, primenjuje se procedura strogog

rangiranja, tj. dodeljuju se rangovi od najmanjeg (1) do najvećeg (6). U suprotnom, ako na primer, postoje iste frekvencije u oceni jednog eksperta, računa se srednja vrednost rangiranih mesta događaja koje one zauzimaju i imaće isti standardizovani rang (ovde se primenjuje procedura slobodnog rangiranja). Identična procedura se primenjuje i u slučaju posledica (gubitaka).

2. Saglasnost mišljenja eksperata u proceni frekvencija rizičnih događaja određuje se na osnovu tabele rangova frekvencija i koeficijenata konkordacije za slobodno rangiranje. Isto se odnosi i u slučaju saglasnosti mišljenja eksperata u proceni posledica rizičnih događaja.
3. Računaju se koeficijenti konkordacije koji ukazuju na to da li su eksperti saglasni u svojim ocenama rizičnih događaja ili nisu.
4. Računa se srednja vrednost frekvencije rizičnih događaja kao i srednja vrednost posledica (gubitaka) izazvanih realizacijom rizičnih događaja.
5. Dobija se očekivana vrednost rizika koja je u ovom primeru izražena u broju putnika po godini.

Na osnovu dobijenih rezultata rangiranja ocena, dobijen je koeficijent konkordacije u slučaju frekvencija rizičnih događaja od 0.8133, što ukazuje na saglasnost mišljenja eksperata. Kada su u pitanju posledice rizičnih događaja, koeficijent konkordacije je 0.9359. Konačno, očekivana vrednost rizika iznosi 7296 putnika u toku jedne godine. Ako se pretpostavi da će tokom godine biti ostvaren promet od 450 hiljada putnika, onda je verovatnoća realizacije rizičnog događaja 0.0162, što implicira da će proći 62 godine između realizacije dva rizična događaja u zalivu. Dobijeni rezultat za verovatnoću realizacije rizičnog događaja pripada klasi *povremene* frekvencije rizičnih događaja, shodno tabeli 5.1. Dobijeni rezultati ukazuju na situaciju u Kotorskom zalivu kada bi ukupan broj uplovljenja/isplovljenja putničkih brodova iznosio 2000 u toku jedne godine. U tabeli 5.4 je data analiza osetljivosti i dobijeni su rezultati za tri numerička eksperimenta (podaci dobijeni intervjuom sa različitim ekspertima), pri čemu je izvršena i klasifikacija u odnosu na kvantifikaciju frekvencije rizičnih događaja. Prikazan je vremenski period u godinama između realizacije dva rizična događaja u zalivu (E_{re}). U

numeričkim eksperimentima obuhvaćeno je ispitivanje pet rizičnih događaja: sudar brodova, preticanje brodova, nasukavanje brodova, greške u navigaciji brodova i loši vremenski uslovi (Škurić i Maraš, 2017).

Tabela 5.4. Rezultati očekivane vrednosti rizika (u putnicima po godini) (Škurić i Maraš, 2017)

		Podaci za frekv. rizičnih događaja u god.					Rezultati			
Num. eksper. 1	m	n	C	$C_m (C'_m)$	$W_d (W_f)$	R (put.)	P_{re}	Klasa	E_{re} (god)	
		3	5	60.50	82.50	0.73333	487	0.00108	Mala	926
	Podaci za posled. rizičnih događaja u god.									
	3	5	72.00	90.00	0.8000					
		Podaci za frekv. rizičnih događaja u god.					Rezultati			
Num. eksper. 2	m	n	C	$C_m (C'_m)$	$W_d (W_f)$	R (put.)	P_{re}	Klasa	E_{re} (god)	
		2	6	49.52	68.00	0.7282	599	0.00133	Mala	752
	Podaci za posled. rizičnih događaja u god.									
	2	6	58.50	69.00	0.8478					
		Podaci za frekv. rizičnih događaja u god.					Rezultati			
Num. eksper. 3	m	n	C	$C_m (C'_m)$	$W_d (W_f)$	R (put.)	P_{re}	Klasa	E_{re} (god)	
		2	5	32.00	38.00	0.8421	942	0.00209	Mala	479
	Podaci za posled. rizičnih događaja u god.									
	2	5	30.50	39.00	0.7821					

Na osnovu predstavljenih rezultata i razmatrajući realan slučaj u zalivu koji se odnosi na opsluživanje brodova za kružna putovanja morem i uspostavljanje redovnog putničkog trajektnog servisa, za smanjenje mogućnosti pojave rizičnog događaja, jedan od predloga je da se razmotri mogućnost uvođenja dodatnih sidrišta u Bokokotorskom zalivu, izvan Kotorskog zaliva (Škurić i Maraš, 2017).

Rezultat prethodnog primera ukazuje na povremenu mogućnost frekvencije rizičnih događaja. Stoga je potrebno predvideti intenzitet saobraćaja svih vrsta plovnih objekata u zalivu kako bi se izbegle rizične situacije, i na taj način sprečilo ugrožavanje ljudskih života u razmatranom plovidbenom području (Škurić i Maraš, 2017).

5.5. Rezultati novog scenarija u Bokokotorskom zalivu

U ovom odeljku su predstavljeni izlazni podaci scenarija koji nastaje na osnovu podataka dobijenih od strane eksperata i u situaciji kada bi se opsluživanje brodova za kružna putovanja morem realizovalo i van plovidbenog područja Kotorskog zaliva (u toj situaciji bi se rasteretio saobraćaj i proširio na Tivatski i Risanski zaliv). U tabeli 5.5 su prikazani rezultati u odnosu na mišljenja tri eksperta za šest rizičnih događaja i mogućnost opsluživanja trajektnih brodova u ostalim zalivima (Škurić i Maraš, 2017).

Kao što se može primetiti, očekivana vrednost broja putnika koji su izloženi rizičnim situacijama prilikom posete plovidbenom području je znatno manja u odnosu na rezultat koji je dobijen na realnom primeru u odeljku 5.4. Razlog za ovako dobijene rezultate novog scenarija je u tome što bi se prema mišljenjima eksperata smanjila frekvencija rizičnih događaja, a samim tim i posledice. U skladu sa tabelom 5.1, dodeljuje se klasa rizičnog događaja i ostali rezultati prikazani u tabeli 5.5 (Škurić i Maraš, 2017).

U ovom delu poglavlja je obavljena analiza procene navigacionog rizika na primeru Luke Kotor i Bokokotorskog zaliva. Naime, razvijen je model koji je baziran na oceni eksperata u odnosu na frekvenciju i posledice rizičnih događaja u definisanom plovidbenom području. Takođe, ovde su dati rezultati za nekoliko numeričkih primera kao što je razmatran i slučaj novog scenarija kada bi se brodovi za kružna putovanja morem pored Kotorskog zaliva opsluživali i u Tivatskom i Risanskom. Shodno smanjenoj

gustini saobraćaja velikih putničkih brodova u Kotorskom zalivu uz mogućnost revitalizacije lokalnog redovnog trajektnog servisa, smanjila bi se i očekivana vrednost rizičnih događaja. Ova analiza dobija na značaju jer je jedna od retkih koja je obuhvatila procenu rizika u putničkim lukama na istočnoj obali Jadrana. Svakako da se kompleksnost ove ideje ogleda i u mogućnostima da se predvidi gustina saobraćaja i proceni navigacioni rizik u situaciji kada je razvijen lokalni redovni pomorski saobraćaj u Bokotorskom zalivu (Škurić i Maraš, 2017).

Tabela 5.5. Rezultati novog scenarija u Bokotorskom zalivu (Škurić i Maraš, 2017)

Podaci za frekv. rizičnih događaja u god.						Rezultati			
	m	n	C	C_m (C'_m)	W_d (W_f)	R (put.)	P_{re}	Klasa	E_{re} (god)
Novi scenario	3	6	115.00	150.00	0.7667	1584	0.00352	Mala	284
	Podaci za posled. rizičnih događaja u god.								
	3	6	146.00	156.00	0.9359				

Za ispitivanje navigacionog rizika, potrebno je sakupiti adekvatne podatke, identifikovati mogućnosti rizika i zatim isti modelirati. Prema tome, glavni cilj istraživanja je usmeren ka identifikaciji potencijalnih rizika, verovatnoće realizacije rizika i mogućnosti da se rizični događaj može ponoviti posle određenog vremenskog perioda. U zavisnosti od primera, ovde su se razmatrali slučajevi kada su eksperti davali ocene za frekvencije i posledice pet ili šest rizičnih događaja, i to: sudar brodova, preticanje brodova, nasukavanje brodova, greške u navigaciji brodova, loši vremenski uslovi i kvar na brodu. Svakako da prostora za proširenje ove analize ima i ona pre svega treba da bude podržan analizom opravdanosti realizacije lokalnog redovnog putničkog trajektnog prevoza u Bokotorskom zalivu tokom cele godine. Takođe, određivanje veličine trajektne flote, kao i ekonomska opravdanost budućeg istraživanja može samo

doprineti rasterećenju drumskog saobraćaja u zalivu, minimizaciji uskih grla, smanjenju emisije štetnih gasova sa drumskih prevoznih sredstava, očuvanju životne sredine itd.

Činjenica je da je sistem elektronske navigacije u organizaciji pomorskog saobraćaja dobio na značaju u poslednjim decenijama. Dodatno, brodari su sve više radili na tome da unaprede navigacionu i relativnu sposobnost broda za plovidbu, a sve u cilju smanjenja izlaganja potencijalnim opasnostima i rizicima. Sigurnost plovidbe u različitim uslovima naročito dolazi do izražaja u putničkim lukama, jer putnički brodovi moraju biti sposobni da izbegnu uslove tj. situacije koje mogu prevashodno dovesti do ozlede ili gubitka života na moru. Iz tog razloga treba obratiti pažnju na upotrebu automatskog identifikacionog sistema (AIS) u pomorskoj plovidbi u cilju izbegavanja rizičnih situacija. Uz pomoć njega kao i sličnih elektronskih sistema ostvaruje se bezbedna plovidba i boravak brodova u putničkim lukama, podrazumeva se razmena informacija koje su statičkog ili dinamičkog karaktera kao i informacija o kretanju brodova od ishodišta do odredišta. Kada je u pitanju Luka Kotor, veoma je važno istaći da bi rad obalne stanice koja prati kretanje plovila u celom zalivu bio potpuniji ukoliko bi se u narednom periodu obezbedio i sistem za neprekidno određivanje pozicije ili diferencijalni sistem za neprekidno određivanje pozicije, jer bi se na taj način dobile blagovremene informacije o brzinama brodova i njihovim kursovima, što bi uticalo na smanjenje pojave rizičnih događaja u navedenom plovidbenom području (Škurić i Maraš, 2017).

5.6. Pojam emisije izduvnih gasova sa brodova

Procena emisije izduvnih gasova sa putničkih brodova u lukama predstavlja veoma važan segment u cilju zaštite životne sredine priobalja. Da bi se izračunao nivo emisije izduvnih gasova, potrebno je analizirati prevozne učinke trajektnih brodova, što se primarno odnosi na rad njihovih glavnih pogonskih motora. Bez obzira što su dizel motori uveliko postigli efikasnost u potrošnji goriva, ipak nisu beznačajan izvor emisije azotnih oksida (NO_x), sumpor dioksida (SO₂), čestica (PM) i ugljen monoksida (CO), u literaturi ocenjenih kao veliki zagađivači vazduha (Mocerino i drugi, 2020). Upravo su u analizi obrađenoj u ovom delu disertacije razmatrane karakteristike i parametri emisije izduvnih

gasova sa trajektnih brodova koji prevoze putnike na lokalnom nivou (Škurić i drugi, 2020b).

Sredozemno more se nalazi na prvom mestu i broji više od 50% redovnih trajektnih linija u Evropi uključujući domaću kabotažu i pomorski prevoz između više država (Škurić i drugi, 2020a). Farrell i drugi (2002, 2003) su analizirali implikacije sedam tehnoloških rešenja i njihovih troškova na primeru tri putnička broda za trajektni prevoz, takođe koji saobraćaju u zalivu. Dobijeni rezultati su ukazali na manji nivo emisije azotnih oksida i čestica sa ovih brodova ukoliko se isti pridržavaju odredbi Ranga II (eng. *Tier II*). Slično je urađeno i testirano u studiji Farrell i drugih (2003), kada su autori ponudili odgovarajuća rešenja sa smanjenje emisije azotnih oksida. U radu Winebrake i drugih (2005) predstavljen je matematički model za određivanje optimalne veličine putničke trajektne flote na primeru luka Njujork i Nju Džerzi. Autori su razvili model mešovitog celobrojnog nelinearnog programiranja koji za cilj ima da redukuje emisiju azotnih oksida i čestica koje emituje 45 trajektnih brodova. Tichavska i Tovar (2015a) su uz pomoć AIS modela procenili emisiju izduvnih gasova kod brodova za kružna putovanja morem i trajektnih brodova koji saobraćaju u Luci Las Palmas. Ustanovili su da se najviše izduvnih gasova sa trajektnih brodova proizvodi u operativnom režimu – plovidbi. Oni su zatim proširili svoju studiju, računali eksterne troškove i predložili razna ekološki efikasnija rešenja (Tichavska i Tovar, 2015b).

Toscano i Murena (2019) su računali koncentraciju azotnih oksida i čestica tokom različitih operativnih režima (lučki režim rada na vezu i tokom manevrisanja) brodova za kružna putovanja morem, ostalih putničkih brodova i komercijalnih brodova u 38 luka. Letafat i drugi (2020) su u svom istraživanju prikazali različite scenarije u cilju smanjenja emisije izduvnih gasova i povećanja kvaliteta vazduha minimizirajući operativne troškove. Veliku pažnju su posvetili konceptu *Nulte emisije*, hibridnim energetske sistemima na brodovima trajektne flote i brodovima na električni pogon. Mocerino i drugi (2020) su razvili mrežu nadzora za merenje emisije sa brodova za kružna putovanja morem, trajektnih brodova i hidroglisera u napuljskoj luci. Nikolić i drugi (2017) su razmatrali mogućnost da se proizvodnja štetnih gasova sa brodova može smanjiti na primeru azotnih oksida, sumpor dioksida i ugljen monoksida upotrebom druge generacije

biogoriva. Prva studija o emisiji izduvnih gasova sa brodova za kružna putovanja morem u vezi sa Lukom Kotor je rađena u radu Nikolić i drugi (2016). Autori su primenili metodologiju opisanu u radu Vaccaro i drugi (1998). Tada je pokazano da se 70% od ukupne emisije izduvnih gasova proizvodi tokom boravka broda na vezu.

U literaturi postoje dva pristupa procene emisije izduvnih gasova sa brodova. Prvi je pristup *odozdo prema gore (bottom-up)* koji je razvijen od strane Tzannatos-a (2010a,b) i Corbett-a i Koehler-a (2003), dok je drugi pristup *odozgo prema dole (top-down)* kojeg su primenili u svojoj analizi Endresen i drugi (2007) kako bi kvantifikovali emisiju. Prvi pristup podrazumeva proračun emisije koji je baziran na aktivnostima flote. To podrazumeva upotrebu statističkih podataka koji se odnose na broj uplovljavanja i odgovarajući vremenski period za realizaciju svih aktivnosti broda. Kada je u pitanju drugi pristup, za računanje emisije izduvnih gasova se primenjuje statistika potrošnje goriva. Geografski aspekt emisije izduvnih gasova pre svega mora biti prethodno orijentisan na jedan od pomenuta dva pristupa. U skladu sa tim, kod *bottom-up* pristupa se uzimaju u obzir individualne informacije brodova i njihovih pozicija, dok kod *top-down* pristupa pozicija istog i slične informacije nisu potrebne. U narednim odeljcima će se primeniti metodologija prvog pristupa.

5.6.1. Međunarodna i nacionalna regulativa

Međunarodna pomorska organizacija (IMO) je usvojila rezoluciju MEPC.304(72) u okviru *Inicijalne strategije za smanjenje emisije GHG sa brodova* u aprilu 2018. godine (Resolution MEPC, 2018; Škurić i drugi, 2020b). Brodski motori su ocenjeni kao veliki proizvođači zagađujućih supstanci u vazduhu, tako da su aneksom VI MAPROL konvencije iz 1997. godine definisani limiti za nivoe NO_x i SO_x u gorivu brodova nosivih kapaciteta preko 400 bruto registarskih tona (Annex VI, 1997). Nakon 1997. godine usledilo je donošenje amandmana za aneks VI sa jednim ciljem, a to je prevencija od zagađenja izduvnim gasovima i smanjenje ukupne emisije.

Regioni u kojima se vrši kontrola emisije gasova nazivaju se ECA (eng. *Emission Control Areas*). U tabeli 5.6 su prikazani standardi za nivo emisije azotnih oksida.

Tabela 5.6. Standardi za NO_x (Regulation 13 IMO, 2020)

Rang	Datum izgradnje broda	Ukupna ponderisana vrednost limita emisije (g kWh ⁻¹) n = normalna brzina motora (obrt radilice u minuti-rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1. januar 2000.	17.0	45·n ^(-0.2) ; npr., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1. januar 2011.	14.4	44·n ^(-0.23) ; npr., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1. januar 2016.	3.4	9·n ^(-0.2) ; npr., 720 rpm – 2.4	2.0

Za putničke trajektne brodove odredbe precizirane u tabeli 5.6 su primenjive za brodove čiji su motori na dizel pogon snage preko 130 kW. Navedena primena je naročito važna u onim regionima u kojima putnički trajektni prevoz predstavlja alternativni vid prevoza manjeg broja putnika. Kontrolišući nivo sumpora u gorivu u procentima, primenjuju se odredbe IMO rezolucije MEPC.280(70). Standardi za SO_x i PM su dati u tabeli 5.7.

Tabela 5.7. Standardi za SO_x i PM (Regulation 14 IMO, 2020)

Izvan ECA regiona	U okviru ECA regiona
4.50% m/m pre 1. januara 2012.	1.50% m/m pre 1. jula 2010.
3.50% m/m nakon 1. januara 2012.	1.00% m/m nakon 1. jula 2010.
0.50% m/m nakon 1. januara 2020.	0.10% m/m nakon 1. januara 2015.

Iz tabele 5.7, ECA region obuhvataju sledeća područja (Škurić i drugi, 2020b):

1. Baltičko more – definisano u aneksu I MARPOL konvencije (samo za SO_x);
2. Severno more – definisano u aneksu V MARPOL konvencije (samo za SO_x);
3. Oblast Severne Amerike (stupio na snagu 1. avgusta 2012.) – definisano u dodatku VII aneksa VI MARPOL konvencije (za SO_x, NO_x i PM); i
4. Oblast Karipskog mora SAD-a (stupio na snagu 1. januara 2014.) – definisano u dodatku VII aneksa VI MARPOL konvencije (za SO_x, NO_x i PM).

Nedavno je u radu Nikčević (2019) dat pregled aktuelnih zakona i podzakonskih akata iz oblasti primene odredbi MARPOL konvencije na morsko područje Crne Gore.

Jedan od prvih domaćih zakona koji se tiče sprečavanja zagađenja mora brodovima i zaštita i očuvanje morske okoline je Zakon o zaštiti mora od zagađivanja sa plovnih objekata usvojen 2011. godine (“Službeni list Crne Gore” br. 020/11, 026/11 i 027/14). Članovi 35-37 zakona regulišu ispuštanje štetnih materija u vazduh (Škurić i drugi, 2020b). Zakonom o zaštiti vazduha (“Službeni list Crne Gore”, br. 025/10, 040/11 i 043/15) regulisan je način praćenja kvaliteta vazduha, mjere zaštite, procene i poboljšanja kvaliteta vazduha, kao i planiranje i upravljanje kvalitetom vazduha. Član 8. zakona definiše zagađivače i standarde procene kvaliteta vazduha, dok član 9 reguliše procenu kvaliteta vazduha i upravljanje kvalitetom vazduha koji su obavezni u svim zonama teritorijanih voda Crne Gore (Škurić i drugi, 2020b).

Isto tako, Vlada je 2017. godine donela Uredbu o graničnim vrednostima sadržaja zagađujućih materija u tečnim gorivima naftnog porekla (“Službeni list Crne Gore”, br. 017/17). Uredba propisuje vrste tečnih goriva naftnog porekla, granične vrednosti za sadržaj zagađujućih materija i sadržaj aditiva na bazi metala i druge karakteristike goriva. U pogledu zaštite životne sredine, reč je o ograničenim vrednostima svojstava u gorivima koja se koriste u lukama, teritorijalnim vodama i isključivim ekonomskim zonama, kao i zonama kontrole emisije sumpor-oksida.

5.6.2. *Bottom-up* pristup

U ovom odeljku je hronološki prikazan pregled relevantnih istraživanja koja su primenila *bottom-up* pristup kod računanja nivoa izduvne emisije gasova sa putničkih brodova.

U studiji Corbett i Farrell (2002) je korišćen integrisani *bottom-up* pristup za proračun ostvarenog nivoa emisije trajekta po putniku i rezultati su upoređeni sa iznosom emisije izduvnih gasova koja je nastala kao rezultat automobilskeg prevoza od ishodišta do odredišta. Dobijeni rezultati su ukazali da razmatrani trajektni brod emituje 0.42 tona NO_x na dnevnom nivou.

Koristeći podatke o lučkom saobraćaju, postoje dve studije Tzannatos (2010a,b) koji je procenio nivo emisije iz putničkih brodova. Prvo je Tzannatos (2010a) proučavao

sezonski efekat na intenzitet emitovanih izduvni gasova tokom različitih faza aktivnosti broda, tj. tokom manevrisanja i vezivanja brodova, kao i eksternalije za putničke brodove u Luci Pirej. Dalje, Tzannatos (2010b) je detaljno opisao *bottom-up* metodologiju za procenu emisije izduvni gasova sa putničkih brodova (obalnih i brodova za kružna putovanja morem) na vezu u istoj luci. Analiza je obuhvatila definiciju faktora emisije brodskih motora za NO_x, SO₂ i PM, nivo sadržaja sumpora u gorivu, tipove glavnih pogonskih motora i vrednosti njihovih faktora opterećenja. U radu je posebna pažnja usmerena ka učincima pomoćnih motora. Zaključci obe studije se odnose na intenzivnu kontrolu proizvedenih emisija i ispunjenje odredbi koje su specificirane u Direktivi Evropske unije 2012/33/EU (Directive 2012/33/EU, 2012).

U radu Eyring i drugi (2020) je razmatran aspekt neizvesnosti koji karakteriše *bottom-up* pristup, gde su autori opisali STEEM model koji je definisan u radu Wang i drugih (2008) čija studija integriše pomorsku saobraćajnu mrežu i geografski informacioni sistem. Takođe, Eyring i drugi (2020) su elaborirali rezultate dobijene u radovima Endersen i drugi (2003) i Dalsoren i drugi (2007).

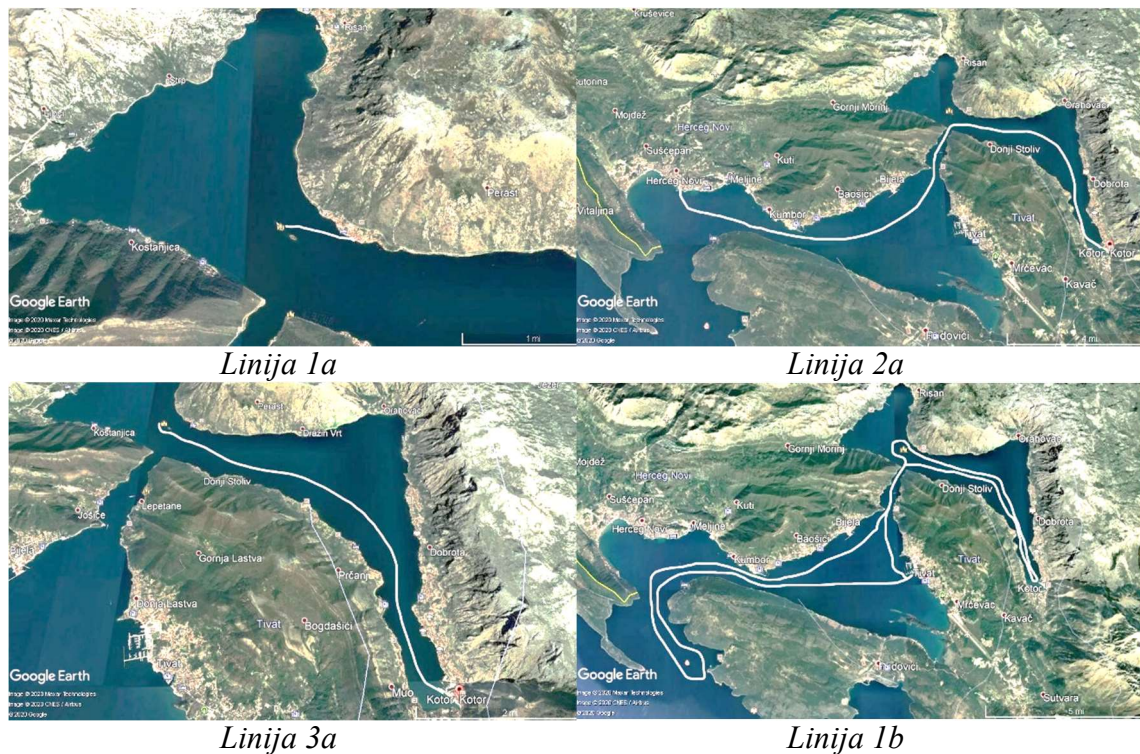
U radu Nunes i drugi (2017) primenjena je metoda zasnovana na aktivnost broda. Razmatrane su četiri portugalske luke za koje je računat dvogodišnji nivo emisije različitih izduvni gasova. Emisija je računata tokom boravka broda na vezu, za vreme manevrisanja i tokom plovidbe za sedam brodova od kojih je jedan putnički. Rezultati su pokazali da je od zagađujućih materija naviše emitovano azotnih oksida i sumpor dioksida. U radu Dragović i drugih (2018) predložena je metodologija za izračunavanje emisije brodova za kružna putovanja morem tokom manevrisanja i boravka broda na vezu i sidru. Istraživanje je zasnovano na ostvarenom prometu brodova u lukama Dubrovnik i Kotor. Autori su takođe ukazali na neizvesnost parametara kod *bottom-up* pristupa, kao što su faktori opterećenja pogonskih motora tokom različitih režima krstarenja i vrednosti faktora emisije neophodnih za procenu emisije.

Procena emisije NO_x i SO_x za aktivnosti plovidbe i boravka na vezu brodova je određena u radu Murena i drugih (2018). Studija slučaja obuhvatila je promet brodova za kružna putovanja morem u Luci Napulj za 2016. godinu. Za modeliranje je korišćen CALPUFF softver, Gausov model i simulacija.

5.7. Kvantifikacija emisije izduvnih gasova sa trajektnih brodova

5.7.1. Ulazni podaci

Kao i kod primera za procenu navigacionog rizika, ovde je razmatran realan slučaj prometa turista trajektnim brodovima u Bokokotorskom zalivu u 2018. godini (Škurić i drugi, 2020b).



Slika 5.4. Posmatrane linije u Bokokotorskom zalivu (Škurić i drugi, 2020b)

Ovaj servis je aktuelan od marta do oktobra jedne godine i analizirana je emisija izduvnih gasova koji su nastali kao rezultat plovidbenih aktivnosti u zalivu, i to: NO_x, PM, SO₂ i CO za četiri broda i četiri plovidbene linije koje su prikazane na slici 5.4. Studija slučaja podrazumeva prevoz turista sa četiri trajektna broda na četiri plovidbene linije. Osnovne karakteristike brodskih linija su date u tabeli 5.8. Na prvoj liniji 1a koja podrazumeva prevoz turista od Perasta do Gospe od Škrpjela i nazad, brod J1 pravi jednu pauzu na ostrvu. Što se tiče druge linije (2a), ona obuhvata prevoz turista brodom J2 od

Kotora do Herceg Novog i nazad. Tokom ove plovidbe, naprave se dve pauze u trajanju od 0.75 sati. Linija 3a se odnosi na prevoz turista od Kotora do Gospe od Škrpjela i nazad brodom J3 i na ostrvu se napravi jedna kratka pauza. Linija 1b se odnosi na krstarenje celim zalivom brodom R1 i sadrži dve pauze koje ukupno traju oko dva sata.

Tabela 5.8. Osnovne karakteristike brodskih linija (Škurić i drugi, 2020b)

Linija	Rastojanje (nm)	Vreme plovidbe (h)	Brod	Broj putovanja	Promet putnika
Linija 1a	2	1.02	J1	455	16483
Linija 2a	30	4.15 (0.75 h za pauzu)	J2	180	5227
Linija 3a	12	2.40	J3	236	6539
Linija 1b	36	6 (2 h za pauzu)	R1	200	30685

Broj obrta brodova na linijama zna da bude različit tokom meseci, tako da broj J1 na liniji 1a u novembru napravi obično jedno putovanje, dok od aprila do oktobra napravi i po dva putovanja dnevno. U istom periodu brod J3 napravi po jedno putovanje dnevno, dok se od juna do avgusta na liniji 3a napravi po dva obrta obroda dnevno. Na liniji 1b brod R1 u julu i avgustu napravi pojedinim danima i po dva do tri putovanja. Ukupna iskorišćenost prevoznog kapaciteta brodova J1, J2, J3 i R1 iznosi 66%, 53%, 50% i 38%, redom (Škurić i drugi, 2020b).

Tabela 5.9. Osnovne tehničke karaktersitike brodova (Škurić i drugi, 2020b)

Brod	Godina izgradnje	GT	Prev. kapacitet	Pros. brz. (čv)	Motor	Snaga ME (kW)	Snaga AE (kW)
J1	2006	8.89	55	9	Daf	150	n/a
J2	2010	8.89	55	10	Fiat	200	n/a
J3	2017	8.89	55	12	Iveco	300	n/a
R1	1989	126	400	9	Renault	410	160

U tabeli 5.9 date su tehničke karakteristike trajektnih brodova za prevoz turista, pri čemu je prikazana godina izgradnje broda, ukupna vrednost bruto registarske tonaže (GT), prevozni kapacitet broda, prosečna brzina plovidbe, tip pogonskog motora i snaga glavnog (ME) i pomoćnog motora (AE).

5.7.2. Definisane faktora opterećenja brodskog pogona i koeficijenta emisije

Analizirajući literaturu, postoji nekoliko studija koje razmatraju specifičnosti obalnih brodova ili brodova za rekreaciju, uključujući trajekte, tj. izletničke brodove relevantne za ovo istraživanje. Primenom *bottom-up* pristupa, definicija vrednosti faktora opterećenja motora na putničkim trajektnim brodovima oslanja se na informacije o ovim brodovima koje su dobijene u praksi, sa specifičnim tehničkim zahtevima, navigacionim učincima brodova u Bokotorskom zalivu i relevantnim iskustvom privatnih operatera (Škurić i drugi, 2020b). U analizi, svaki trajektni brod prolazi kroz tri faze: režim plovidbe, manevrisanja i boravka na vezu. Odgovarajući faktori opterećenja za svaki tip trajektnog motora i aktivnost brodova korišćenih u prethodnom odeljku predstavljeni su u tabeli 5.10.

Tabela 5.10. Faktori opterećenja motora u % (Škurić i drugi, 2020b)

Brod	Tip motora	Na vezu	Manevrisanje	Plovidba
J1	ME	25	25	80
J2	ME	25	25	80
J3	ME	25	25	80
R1	ME	30	30	80
	AE	40	60	40

Vrednosti u tabeli 5.10 su veoma slične onima koje su opisane u okviru hronološkog pregleda literature za *bottom-up* pristup. Standardne vrednosti za ME u plovidbi i manevrisanju gotovo su identične konvencionalnim istraživanjima. Faktor opterećenja za režim broda na vezu veći je nego obično i prilagođen realnim ulaznim podacima zbog

navigacionih uslova na vezovima u zalivu. Za razliku od faktora opterećenja definisanih u CARB (2004), specifičnosti trajekta R1 su u vezi sa turističkim uslugama koje brod pruža uključujući i dve pauze tokom plovidbe, faktori opterećenja za AE tokom sve tri faze slični su vrednostima predloženim u studijama USEPA (2000) i ENTEC (2002) za putničke brodove, i onima predloženim u radu Tzannatos (2010a) za obalne putničke brodove. Za određivanje vrednosti koeficijenata emisije urađen je pregled relevantnih publikacija i studija sa naglaskom na putničke trajektne brodove, obalne putničke brodove, obalne brodove i rekreativne brodove. Zanimljiv vodič za procenu emisija izduvnih gasova o međunarodnoj plovidbi, nacionalnoj plovidbi i nacionalnom ribolovu pripremila je Evropska agencija za životnu sredinu (EMEP/EEA, 2013). Druge studije i istraživanja čiji su podaci o koeficijentima emisije uzeti u obzir dati su u radovima (Corbett i Farrell, 2002; Tzannatos, 2010a; CARB, 2004; ENTEC, 2002; Cooper, 2001; Cooper i Gustafsson, 2004; ICF, 2009; SCG LLC, 2019).

Prema istraživanju Moldanova i drugih (2010), posmatrajući putničke brodove za trajektni prevoz u Sredozemnom moru, nivo sadržaja sumpora u pogonskom gorivu je pretežno oko 2.7%, umesto propisanih 1.5%. U slučaju trajektnih brodova za prevoz turista koji se nalaze u plovidbi u teritorijalnim vodama Crne Gore ili u ekskluzivnoj ekonomskoj zoni, nivo sumpora u gorivu ne prelazi granicu od 0.1%. Koeficijenti emisije su interpolirani u odnosu na istraživanje SCG LLC (2019).

Tabela 5.11. Vrednosti koeficijenata emisije (g kWh⁻¹) (Škurić i drugi, 2020b)

	NO_x	PM	SO₂	CO
J1-J2/ME	12.71	0.22	0.76	1.10
J3/ME	7.92	0.22	0.76	1.10
R1/ME	13.18	0.22	0.76	1.10
R1/AE	12.05	0.22	0.78	1.10

Vrednosti koeficijenata emisije za razmatrane brodove, date u tabeli 5.11, su definisane na osnovu prethodnih relevantnih istraživanja i strukturirane su kroz četiri

kriterijuma: režim broda, vrsta pogonskog motora (srednjehodni dizel motor – MSD i brzohodni dizel motor - HSD), vrsta goriva i faktori opterećenja glavnih i pomoćnih pogonskih motora. Svaki koeficijent emisije je klasifikovan na osnovu vrste izduvnih gasova koji se razmatraju (NO_x, PM, SO₂ i CO). Za svaku grupu je računata prosečna vrednost za donji i gornji interval poverenja od 95%.

5.7.3. Formulacija proračuna emisije

Pre formulacije izraza za proračun nivoa emisije za proračun izduvnih gasova sa trajektnih brodova koji prevoze turiste u Bokokotorskom zalivu, ovde su prikazani ulazni parametri (Škurić i drugi, 2020b):

E_M – emisija tokom manevrisanja (t);

t_M – vreme manevrisanja broda (h);

P_{ME} i P_{AE} – snaga ME i AE (kW);

LF_{ME_M} i LF_{AE_M} – faktori opterećenja za ME i AE tokom manevrisanja (kW);

EF_{ME_M} i EF_{AE_M} – koeficijenti emisije za ME i AE (g kWh⁻¹) - režim manevrisanja;

E_H – emisija na vezu (t);

t_H – vreme broda na vezu (h);

LF_{ME_H} i LF_{AE_H} – faktori opterećenja ME i AE broda na vezu (kW);

EF_{ME_H} i EF_{AE_H} – koeficijenti emisije za ME i AE broda na vezu (g kWh⁻¹);

E_N – emisija tokom plovidbe (t);

t_N – vreme broda u režimu plovidbe (h);

LF_{ME_N} i LF_{AE_N} – faktori opterećenja za ME i AE (kW) - režim plovidbe;

EF_{ME_N} i EF_{AE_N} – koeficijenti emisije za ME i AE (g kWh⁻¹) - režim plovidbe.

Emisija izduvnih gasova brodova u režimu manevrisanja se dobija sledećim izrazom

$$E_M = \left[t_M \left(\left(P_{ME} \cdot LF_{ME_M} \cdot \sum EF_{ME_M} \right) + \left(P_{AE} \cdot LF_{AE_M} \cdot \sum EF_{AE_M} \right) \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (5.14)$$

Za računanje emisije izduvnih gasova tokom boravka broda na vezu, koristi se sledeći izraz

$$E_H = \left[t_H \left((P_{ME} \cdot LF_{ME_H} \cdot \sum EF_{ME_H}) + (P_{AE} \cdot LF_{AE_H} \cdot \sum EF_{AE_H}) \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (5.15)$$

dok se za proračun emisije izduvnih gasova tokom plovidbe koristi sledeća formula

$$E_N = \left[t_N \left((P_{ME} \cdot LF_{ME_N} \cdot \sum EF_{ME_N}) + (P_{AE} \cdot LF_{AE_N} \cdot \sum EF_{AE_N}) \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (5.16)$$

Procedura za računanje emisije izduvnih gasova sa brodova je ista za svaku vrstu gasova i čestica i zavisi od vrednosti koeficijenata emisije. Ukupna emisija se dobija izrazom

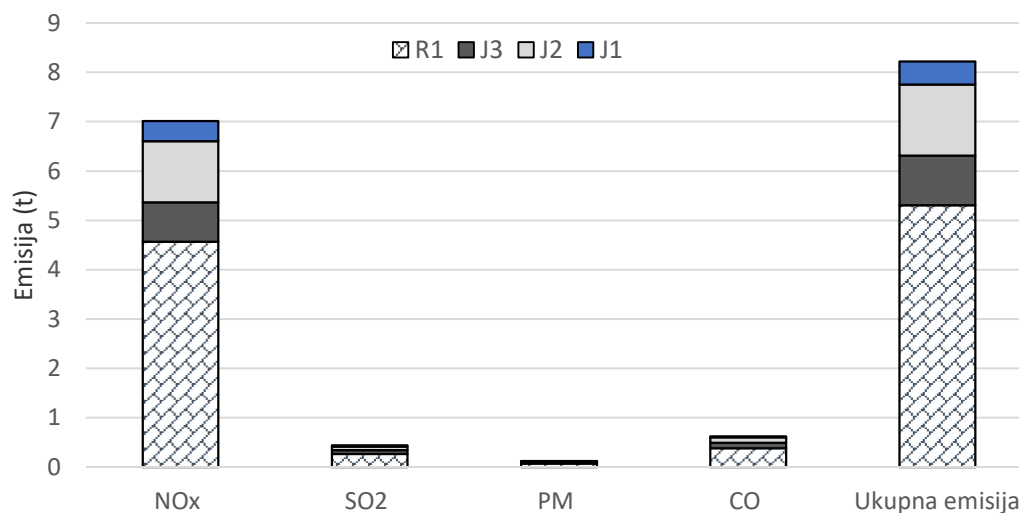
$$E = E_M + E_H + E_N. \quad (5.17)$$

5.8. Rezultati i diskusija

Nivo procenjene ukupne emisije za razmatrani slučaj četiri plovidbene linije u jednoj godini u Bokokotorskom zalivu je dat na slici 5.5. Posmatrajući izduvne gasove, NO_x je proizveo 85.4% (7.017 tona) od ukupne emisije u 2018. godini koja je iznosila 8.22 tone. SO₂ je proizveo 5.4% od ukupne emisije (tj. ukupno 0.447 tona), dok su PM i CO redom emitovali 1.6% (0.128 tona), odnosno 7.6% od ukupne emisije (0.628 tona).

NO_x je ostvario najveći nivo emisije među svim izduvnim gasovima zbog specifičnosti procesa sagorevanja u dizel motorima koje uzrokuje i najveće vrednosti koeficijenata emisije. Emisija CO je znatno niža od NO_x zbog slabog procesa sagorevanja u dizel motorima. Što se tiče proračuna SO₂, koeficijent emisije zavisi od sadržaja

sumpora u gorivu. Nivo emitovanih čestica je relativno nizak zbog upotrebe goriva višeg kvaliteta, uključujući nizak sadržaj sumpora od 0.1% (Škurić i drugi, 2020b).



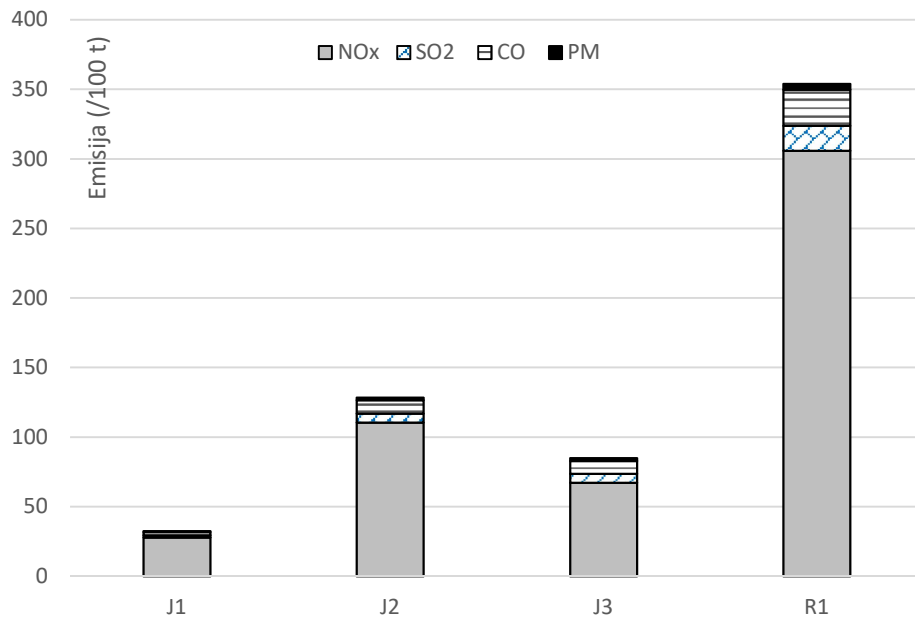
Slika 5.5. Ukupna emisija u tonama (Škurić i drugi, 2020b)

Najveću emisiju NO_x je ostvario brod R1, tačnije 4.569 tona, zatim sledi brod J2 (1.237 tona), brod J3 (0.799 tona) i brod J1 (0.412). U slučaju emisije SO₂, najviši nivo zagađenja ponovo je proizveo brod R1 (0.271 tona). Brod J1 proizveo je 0.025 tona SO₂, trajekt J2 emitovao je 0.074 tone, a 0.077 tona SO₂ proizveo je trajekt J3.

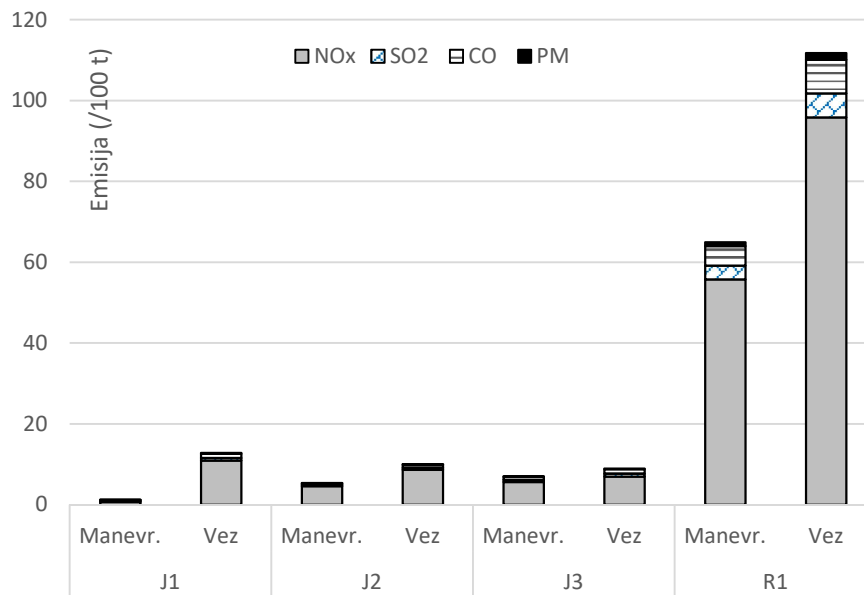
Što se tiče nivoa čestica, rezultati su sledeći: brod R1 je proizveo 0.078 tona i zauzeo prvo mesto; trajekti J3, J2 i J1 proizveli su 0.022 tone, 0.021 tone i 0.007 tona čestica, redom.

Konačno, emisija CO koju je proizveo brod R1 je iznosila 0.389 tona, trajekt J3 proizveo je 0.111 tona, brod J2 emitovao je 0.107 tona, a najmanju emisiju CO postigao je trajekt J1 i to 0.021 tona. Rezultati su ukazali na pretpostavku da će najveću emisiju izduvnih gasova proizvesti brod R1, zbog najveće snage motora na brodu, bruto tonaže, kapaciteta za prevoz putnika i vremena plovidbe na najdužoj liniji (Škurić i drugi, 2020b).

Analizirajući aktivnosti brodova za trajektni prevoz turista i postignute nivoe emisija izduvnih gasova, na slikama 5.6 i 5.7 su prikazani odgovarajući rezultati.



Slika 5.6. Emisija izduvnih gasova brodova u plovidbi (Škurić i drugi, 2020b)



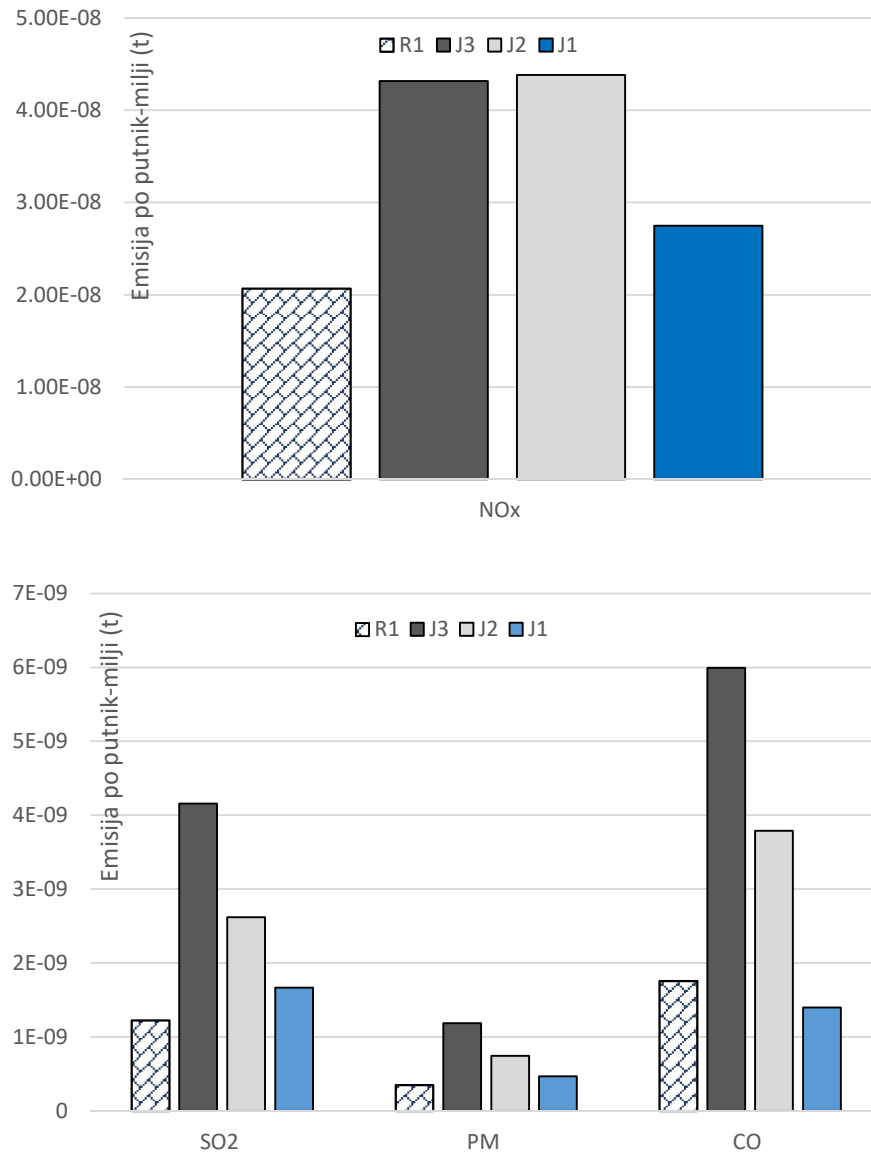
Slika 5.7. Emisija izduvnih gasova brodova tokom manevarisanja i boravka na vezu (Škurić i drugi, 2020b)

Emisiju od 0.465 tona proizveo je brod J1 koji je proveo oko 106 sati u plovidbi, 32 sata u manevrisanju i 133 sata na vezu. Tokom plovidbe, trajekt J1 je proizveo 0.324 tone zagađujućih materija, 0.011 tona u režimu manevrisanja i 0.13 tona tokom boravka na vezu. Što se tiče rezultata trajekta J2, ukupan nivo proizvedene emisije iznosio je 1.44 tone. Brod je proizveo 1.29 tona zagađujućih materija u plovidbi u čijem režimu je proveo više od 540 sati. Tokom faze manevrisanja koja je trajala 72 sata, proizvedena emisija zagađujućih materija je iznosila 0.05 tona, dok je u slučaju boravka broda na vezu (u trajanju od 135 sati) nivo emisije iznosio 0.1 tonu (Škurić i drugi, 2020b).

Trajekt J3 proveo je gotovo 300 sati u režimu plovidbe, 80 sati u manevrisanju, a 100 sati na vezu. Najveća emisija izduvnih gasova je postignuta tokom plovidbe – 0.85 tona od ukupne emisije koja je iznosila 1.01 tonu. Tokom manevrisanja i boravka broda na vezu, proizvedene emisije izduvnih gasova su iznosile 0.07 tona, odnosno 0.09 tona, redom. Najveću emisiju od 5.31 tone je proizveo brod R1. U plovidbi je proveo oko 516 sati, u režimu manevrisanja 172 sata, a na vezu 344 sata. Tokom plovidbe trajekt R1 je emitovao 3.54 tone zagađujućih materija, dok je u manevrisanju proizveo 0.65 tona, a na vezu 1.12 tone (Škurić i drugi, 2020b).

Rezultati emisije po putnik-milji su prikazani na slici 5.8. Kao što se vidi na slici, najveću emisiju NO_x po putnik-milji je proizveo trajekt J2 (4.38E-08 tona). Nešto nižu emisiju NO_x proizveo je trajekt J3 (4.31E-08), dok su brodovi J1 i R1 emitovali 2.75E-08, odnosno 2.07E-08 tona, redom. Dominantan nivo emisije po putnik-milji za preostale tri vrste izduvnih gasova ostvarena je od strane broda J3, ukupno 4.16E-09 tona SO₂, 1.19E-09 tona PM, odnosno 5.99E-09 tona CO, redom.

U slučaju kumulativne emisije po putnik-milji, ponovo je trajekt J3 postigao najveći nivo emisije (5.45E-08 tona), zatim sledi trajekt J2 (5.10E-08 tona), brod J1 (3.10E-08 tona) i na kraju trajekt R1 (2.40E-08 tona) (Škurić i drugi, 2020b). Brod R1 je proizveo najniže vrednosti NO_x, SO₂ i PM po putnik-milji, iako je iskorišćenost prevoznog kapaciteta bila mnogo manja od ostalih brodova. Očekuje se da bi emisija ovih izduvnih gasova po putnik-milji bila još niža sa povećanjem iskorišćenja njegovog prevoznog kapaciteta na godišnjem nivou.



Slika 5.8. Emisija po putnik-milji u tonama (Škurić i drugi, 2020b)

Analiza procene nivoa emisije zagađujućih materija na primeru četiri broda za trajektni prevoz turista u Bokokotorskom zalivu u posmatranom periodu od godinu dana i za analizirane plovidbene linije predstavlja prvu detaljnu studiju ove vrste, znajući da su Kotor i zaliv pod zaštitom UNESCO baštine. Navedeni region je prepoznat po visokom nivou poseta turista koji dolaze u Kotor brodovima za kružna putovanja morem ili nekom kopnenom vrstom prevoza. Pored evidentnih pomorskih aktivnosti u zalivu, domicilno

stanovništvo je izloženo zagađenju vazduha sa brodova, uključujući brodove za trajektni prevoz koji transportuju turiste od marta do oktobra meseca svake godine u unutrašnjim delovima zaliva (Škurić i drugi, 2020b).

U ovom odeljku je pored primene *bottom-up* pristupa za proračun nivoa emisije izduvnih gasova sa brodova, prikazan i zakonodavni okvir na međunarodnom i nacionalnom nivou. Koncept zaštite životne sredine je široko prihvaćen, propisi su ispravno ratifikovani u Crnoj Gori, a odredbe zakona se primenjuju i u ovom istraživanju. Računat je nivo emisije za NO_x, PM, SO₂ i CO tokom prevoza turista trajektima na četiri linije u 2018. godini. Ovde je posmatran slučaj kada je sadržaj sumpora u gorivu 0.1% imajući u vidu odredbe nacionalnog regulatornog okvira i realno stanje u zalivu (Škurić i drugi, 2020b). Rezultati su pokazali da brod R1, najveći od svih razmatranih trajekata u odnosu na bruto registarsku tonažu, prevozni kapacitet, snagu pogonskog motora, plovidbom na najdužoj liniji emituje najveće količine izduvnih gasova NO_x, SO₂, PM i CO posmatrajući ukupni nivo. Međutim, rezultati su pokazali najbolje emisione učinke broda R1 kada je emisija štetnih materija razmatrana po putnik-milji.

Buduća istraživanja iz ove oblasti mogu biti usmerena na optimizaciju nivoa emisije izduvnih gasova sa brodova za trajektni prevoz putnika na plovidbenim linijama na način da se strateški raspodele trajekti na plovidbene linije u zavisnosti od njihove potrošnje goriva sa nižim sadržajem sumpora. Takođe, novi zahtevi za smanjenje emisije izduvnih gasova sa brodova koji su dostupni od 1. januara 2020. godine i regulisani odredbom Međunarodne pomorske organizacije, mogu predstavljati izazov u poštovanju regulatornih zahteva i tehničkih rešenja trajekata, posebno u malim regionima poput Bokokotorskog zaliva. Takođe, ova i slične studije mogu uticati na razvoj konkretne preventivne politike praćenja korišćenja vrste pogonskog goriva i emisije zagađujućih materija. Sa druge strane, osnovni cilj ovog istraživanja se odnosi na još jednu mogućnost uvođenja redovnog trajektnog putničkog servisa u Bokokotorskom zalivu upotrebom savremenih tehnologija koje promovišu *super-low-emission-ferries*. Konačno, postoji prostor za detaljnu komparativnu analizu emitovanja izduvnih gasova sa drumskih prevoznih sredstava u odnosu na emisiju realizovanu trajektnim brodovima za prevoz putnika.

6. FORMULACIJA MODELA ZA OPTIMALNO DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA U TRAJEKTNOM PREVOZU PUTNIKA

6.1. Polazne osnove za razvoj matematičkog modela

Prema izveštaju Risposte Turismo (2017), trajektni servis beleži stabilan rast u ostvarenom prometu putnika i tereta i na taj način stimuliše operatore da u svoje linijske operacije uključe nove rute (Škurić i drugi, 2020a,b). Ekspanzija trajektnog servisa je primetna u regionima obalnih zemalja u kojima su prisutni povećani zastoji u drumskom transportu, što dovodi do neželjenih efekata po životnu sredinu kao što je povećanje emisije izduvnih gasova sa vozila (Commission of the European Communities, 2001; Lupi i drugi, 2017). Sa druge strane, trajektni prevoz se smatra veoma fleksibilnim i pogodnim načinom prevoza ljudi i roba između luka i uspešno povezuju periferne oblasti i udaljena ostrva. Uglavnom, trajektni servis je razvijen u državama u kojima Vlada i lokalne samouprave nastoje da unaprede kvalitet transporta putnika. Efikasnost ovog prevoza zavisi od brojnih faktora kao što su: frekvencija transporta, vreme putovanja, brzina brodova, dostupnost linija, procena troškova, itd (Škurić i drugi, 2020a).

U poslednjih deset godina trajektni prevoz putnika karakteriše savremeni izgled brodova kao i povećana frekvencija saobraćaja u državama Evropske unije. Statistička analiza pokazuje da se 58% trajektnog saobraćaja obavlja između luka jedne države. Takođe, 60% trajektne flote obavlja ovaj prevoz u državama Evropske unije, dok ostalih 40% svetske flote realizuje ovu vrstu transporta u ostalom delu sveta. Kada je u pitanju promet broja putnika, 38% od ukupnog broja je transportovano u evropskoj zajednici, dok je 62% prevezenih putnika prevezeno u ostalom delu sveta (European Parliament, 2016; Škurić i drugi, 2020a).

U sličnim studijama (Baird, 1997a,b; Jorgensen i drugi 2004; Jorgensen i drugi 2011; Baird, 2012) istraživači su detaljno opisali značaj putničkog trajektnog prevoza kako bi se izbegle gužve na drumskim saobraćajnicama i koristio morski prevoz u

nedostatku alternativnog vida transporta. Ovde se misli na evropske regione kao što su: Baltik, Severno more i Sredozemno more. Trajektna flota u prva dva regiona je poznata po brzim, fleksibilnim i pouzdanim brodovima. Veliki broj plovidbenih linija se nalazi u Tirenskom (povezujući Sardiniju sa kontinentom) i Balearskom moru (koje povezuju istoimena ostrva sa kontinentom) (RECIA, 2014). U Sjedinjenim Američkim Državama, trajektni prevoz ima važno mesto i obično predstavlja sastavni deo urbanog transportnog sistema u gradovima, kao što su: Njujork, San Francisko i Sijetl, dok u Kanadi grad Vankuver ima veoma razvijen obalni prevoz. Ovakav vid prevoza omogućava smanjenje vremena putovanja meštana, jer plovidbene linije su direktno povezane sa odredištima (FTA, 2003).

U objavljenim studijama se može uočiti veliki broj istraživanja koja se odnose na postojanje trajektnog prevoza meštana u cilju unapređenja transporta od posla do kuće i nazad, uz minimizaciju troškova putovanja. Za razliku od prethodnih konvencionalnih studija, u ovoj disertaciji se uzima u obzir i potražnja za prevozom od strane turista. Novina u matematičkoj formulaciji problema se ogleda u tome da je u postojeću strukturu flote moguće uključiti i dodatne brodove kupovinom ili unajmljivanjem sa tržišta. Prema tome, u ovom poglavlju je pored potražnje meštana, koja se pojavljuje na redovnim trajektnim linijama, kod formulacije modela, uključena i potražnja za prevozom turista na plovidbenim linijama prevoza uključujući značaj sezonskih zahteva. U tome se ogleda i doprinos disertacije, ne samo iz naučnog ugla već i u praktičnom smislu, tako da se formulacija modela može primeniti za bilo koji problem optimizacije veličine flote i dodeljivanja trajektnih brodova plovidbenim linijama. Poseban značaj prepoznaje se i u primeni na lokalnom i regionalnom nivou i na raznim primerima trajektnog prevoza u Jadranskom, Severnom, Baltičkom i Mramornom moru, kao i na drugim destinacijama gde je izražena potražnja za ovim servisom (Škurić i drugi, 2020a).

Dosadašnja istraživanja su obično analizirala problem minimizacije ukupnih operativnih troškova trajektne flote, dok su se problemi maksimizacije dobiti operatora veoma retko razmatrali. Još jedan doprinos disertacije se ogleda i u detaljnom proračunu prihoda, operativnih troškova i troškova putovanja brodova razmatrane flote.

Osnovne karakteristike integrisanog trajektnog servisa koji uključuje drumske saobraćajnice u Norveškoj su opisane u radu Odeck (2008). Jedan ekonomski efikasan metod za računanje operativnih troškova trajektnih brodova za prevoz automobila u Norveškoj su razvili Mathisen i Jorgensen (2012). Baird (2001) je objasnio važnost sistema subvencioniranja s posebnim osvrtom na linijski trajektni servis koji je neophodan za prevoz ljudi i roba od udaljenih japanskih ostrva do kontinenta i obratno. Jedna od interesantnijih studija koja je razmatrala planiranje odgovarajućeg trajektnog prevoza u akvatorijumu je data u radu Ceder i Sarvi (2007).

Na osnovu ocene relevantne literature iz ove oblasti, primetno je da postoji nedostatak istraživanja koji diversifikuju potražnju na redovnim trajektnim linijama i turističkim rutama, iako su Baird (2001) i Chlomoudis i drugi (2007) ukazali na značaj živopisnog turizma (naročito kada su udaljena ostrva u pitanju) koji pozitivno utiče na lokalnu ekonomiju, zbog promocije tradicije i kulturnog nasleđa. Istraživanje i formulacija matematičkog modela u ovoj disertaciji su nastali na realnim osnovama uspostavljanja linijskog trajektnog prevoza putnika na postojećim turističkim rutama u Bokokotorskom zalivu u Crnoj Gori. Ideja za oživljavanje ovog vida prevoza koji je bio aktuelan do sedamdesetih godina prošlog veka, nastao je iz potrebe da se redukuju zastoji koji su evidentni na uzanim druskim saobraćajnicama. Poznato je da je formiranje linijskog trajektnog prevoza putnika inicijativa Vladinih i lokalnih institucija (Škurić i drugi, 2020a).

Ideja je da se kroz prikaz matematičkog modela, njegovu validaciju i testiranje niza primera, izvede generalni zaključak o isplativnosti uspostavljanja linijskog trajektnog prevoza putnika i prevoza koji će biti aktivan i u turističke svrhe, kao i da se kroz adekvatnu analizu opravda ceo projekat i maksimizuje dobit operatora prevoza. Takođe, kroz samo istraživanje se nastoji odrediti optimalna veličina flote i alocirati ista na plovidbenim linijama u razmatranom vremenskom periodu. Sa druge strane, slično kao u radovima Bakkehaug i drugih (2014), Christiansen i drugih (2013), Nicholson i Pullen (1971) i Meng i drugih (2012), kod definisanja matematičkog modela, pošlo se i od činjenice da operator može kupiti ili unajmiti sa tržišta brodove (flotu) u nedostatku odgovarajućeg broja brodova, da bi se zadovoljila potražnja za prevozom. Akcenat je,

međutim, na što većem iskorišćenju postojeće flote. Takođe, za potražnju na turističkim linijama, situacija je sledeća: grupe turista unajmljuju brodove postojeće flote na dnevnom nivou i najčešće indirektno, preko turističkih agencija. Kao posledica toga, predloženi matematički model je kompleksan, jer uključuje sve karakteristike razmatranog problema, a poznato je da je ovakav način istraživanja neophodan korak ka optimalnom donošenju odluka u savremenim ekonomskim i saobraćajnim sistemima. Konačno, ovde su navedene osnovne činjenice koje su od značaja za upošljenje flote za trajektni prevoz putnika (Škurić i drugi, 2020a):

- Linijski servis u zalivu ne postoji, izuzev prevoza u turističke svrhe (četiri solarna broda su porinuta 2019. godine i podaci o formiranim linijama prevoza su još uvek deo projektnih praćenja i analiza);
- Postoji inicijativa (uključujući subvencioniranje) od strane lokalnih institucija da se razvije redovni linijski trajektni prevoz za meštane u cilju smanjenja zagušenja na drumskim saobraćajnicama (naročito u letnjim mesecima);
- Povoljnosti koje implicira uvođenje ovog pomorskog servisa su višestruke; odnose se na ekonomske i povoljnosti koje utiču na zaštitu životne sredine kada je u pitanju uvođenje pomorskih prevoznih sistema savremenih tehnoloških rešenja koji redukuju izduvne gasove sa brodova (kao što je navedeno u studijama *Expedio*, *Blue Coach* (2013) i *Lupi i drugi*, (2017)).

Pretpostavljeno je da je potražnja za prevozom na redovnim linijama uglavnom ravnomernog karaktera, dok su elastičnost i sezonalnost potražnje za prevozom svojstvene turističkim linijama na kojima operatori za trajektni prevoz putnika u velikoj meri ostvaruju dobit. U nastavku sledi detaljna formulacija matematičkog modela koja uključuje navedene postavke i specifičnosti.

6.2. Matematički model

6.2.1. Notacija

Deterministički problem optimizacije (minimizacije konkretno, a slično je i za maksimizaciju koja se može predstaviti kao minimizacija negativne vrednosti funkcije cilja f) se formuliše kao (Hansen i drugi, 2018)

$$\min\{f(x)|x \in X, X \subseteq \xi\}, \quad (6.1)$$

gde ξ , X , x i f predstavljaju, redom: prostor rešenja, prostor dopustivih rešenja, dopustivo rešenje i funkciju cilja. Ukoliko je ξ konačan ili prebrojiv skup, reč je o problemu kombinatorne optimizacije. Međutim, ako je $\xi = \mathbb{R}^n$, radi se o problemu neprekidne optimizacije. Rešenje $x^* \in X$ je optimalno (tzv. globalni optimum), ukoliko zadovoljava uslov

$$f(x^*) \leq f(x), \forall x \in X. \quad (6.2)$$

Sva ostala rešenja nazivaju se sub-optimalnim ili lokalnim optimumima.

Kod rešavanja problema kombinatorne optimizacije egzaktnim algoritmima se može pronaći optimalno rešenje x^* (zajedno sa dokazom o njegovoj optimalnosti), ili se može dobiti informacija da ne postoji dopustivo rešenje, tj. da je skup dopustivih rešenja prazan ili neograničen. U praksi, računarsko vreme za rešavanje nekog primera (tzv. CPU vreme) treba da bude konačno (i ne previše dugo). Kod neprekidne optimizacije, obično se uvodi mogućnost definisanja stepena tolerancije na kvalitet rešenja i program se zaustavlja kada se dobije dovoljno dobro (sub-optimalno) rešenje (Hansen i drugi, 2018).

Problemi mešovitog celobrojnog linearnog programiranja (MILP) podrazumevaju maksimizaciju ili minimizaciju linearne funkcije uz postojanje odgovarajućih ograničenja koja se odnose i na neke od promenljivih u modelu. MILP problem se uopšteno može prikazati kao (Hansen i drugi, 2018):

$$\min \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (6.3)$$

pod uslovima (ograničenjima)

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad \forall i \in M = \{1, 2, \dots, m\}$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in B$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j \in \mathcal{G}$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j \in \mathcal{C}$$

gde je skup indeksa $N = \{1, 2, \dots, n\}$ podeljen u tri podskupa \mathcal{B} , \mathcal{G} i \mathcal{C} koji odgovaraju, redom: binarnim, celobrojnim i neprekidnim promenljivim.

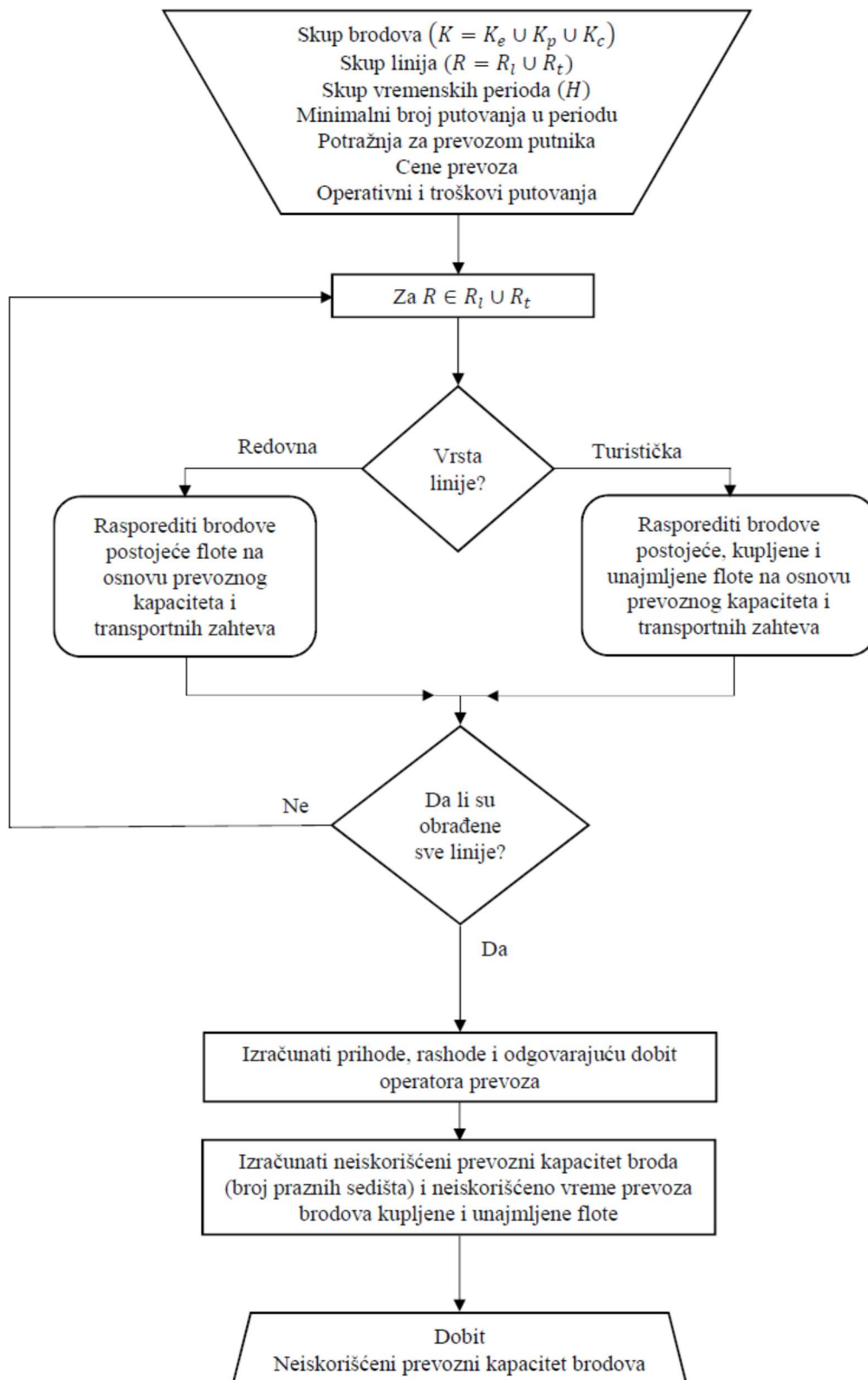
6.2.2. Formulacija problema

Problem dodeljivanja trajektnih brodova transportnim zahtevima je u ovoj disertaciji formulisan u obliku MILP modela. Model je u suštini nelinearan, jer neka ograničenja podrazumevaju proizvod dve promenljive (proizvod dve binarne i proizvod binarne i neprekidne promenljive). U svrhu linearizacije su u modelu dodate nove promenljive i ograničenja, što će biti detaljno obrazloženo.

Polazi se od činjenice da se postojeća flota trajektnih brodova koristi za prevoz meštana na redovnim linijama koji koriste ovaj vid prevoza tokom cele godine. U slučaju povećane potražnje za prevozom koja se realizuje kroz dodatne transportne zahteve na turističkim trajektnim linijama, operatori trajektnog prevoza putnika razmatraju mogućnost za uključivanje dodatnih vrsta brodova u svoju flotu u cilju zadovoljenja višeg nivoa prevoza i obezbeđenja prevoznih kapaciteta. To je naročito prisutno u situaciji kada je dominantan sezonski karakter potražnje, što je obično sinonim za letnji period godine.

Prema tome, u formulaciji modela su uzete u obzir dve opcije. Prva podrazumeva da se brodovi postojeće flote iznajmljuju u turističke svrhe u pauzi između plovidbi na redovnim linijama. Druga opcija podrazumeva da, usled elastičnosti i sezonalnosti turističke potražnje za prevozom, postoji mogućnost (u slučaju da je postojeća flota već alocirana) da operator unajmi dodatne brodove sa tržišta da bi odgovorio na izazove potražnje. Međutim, ukoliko brodovi dodatne flote nisu iskorišćeni na pravi način, u modelu su uključeni i gubici koji nastaju kao rezultat neiskorišćenja njihovih prevoznih kapaciteta (Škurić i drugi, 2020a).

Na slici 6.1 dat je shematski prikaz razvijenog modela.



Slika 6.1. Shematski prikaz modela

6.2.3. Parametri i opis modela

Pre formulacije funkcije cilja i pratećih ograničenja koji čine predloženi MILP model za problem raspoređivanja brodova na transportne linije u trajektnom prevozu putnika, u nastavku je definisana matematička notacija (Škurić i drugi, 2020a).

Skupovi

$K = K_e \cup K_p \cup K_c$ – skup trajektnih brodova gde K_e predstavlja brodove postojeće flote koji služe za prevoz meštana i turista; K_p (K_c) predstavlja kupljenu (unajmljenu) flotu koja se koristi samo za prevoz turista;

$R = R_l \cup R_t$ – skup linija (ruta) koji predstavlja uniju podskupova trajektnih linija na kojima se prevoze meštani (R_l) i linija na kojima se prevoze turisti (R_t);

H – skup koji se odnosi na razmatrani vremenski period od jedne godine i sastoji se od dvanaest mesečnih perioda.

Opšti ulazni parametri

cv_r – cena prevoza meštana na trajektnoj liniji r [\$];

D_{rh} – ukupna potražnja putnika za prevozom na trajektnoj liniji r tokom perioda h . Ovde se razmatra deterministička varijanta problema, gde je potražnja za prevozom unapred data;

q_k – prevozni kapacitet trajektnog broda $k \in K$;

I – predviđeni budžet za kupovinu i unajmljivanje trajektnih brodova [\$/godini];

t_{kr} – vreme trajanja putovanja trajektnog broda $k \in K$ na liniji r [sati];

g_{kh} – maksimalno dozvoljeno vreme za prevoz putnika trajektnim brodom $k \in K$ u periodu h [sati];

lu_{kh} – troškovi (gubici) trajektnog broda $k \in K$ koji nastaju kao rezultat nerealizovanih putovanja u periodu h [\$];

cp_t – trošak za nerealizovano putovanje koje se računa kao cena plaćanja praznog sedišta na trajektnom brodu kupljene ili unajmljene flote [\$];

n_{rh} – minimalan broj putovanja na liniji r u periodu h ;
 r_k – troškovi opravki i održavanja trajektnog broda $k \in K$ [\$];
 i_k – troškovi osiguranja trajektnog broda $k \in K$ [\$];
 a_k – administrativni troškovi trajektnog broda $k \in K$ [\$].

Ulazni parametri za postojeću flotu

$b1_{krh}$ – procenjeni prihod trajektnog broda $k \in K_e$ na liniji $r \in R_t$ u periodu h [\$];
 cp_l – trošak za nerealizovano putovanje koje se računa kao cena plaćanja praznog sedišta na trajektnom brodu postojeće flote [\$];
 j_{krh} – troškovi trajektnog broda postojeće flote $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$].

Ulazni parametri za kupljenu flotu

$b2_{krh}$ – procenjeni prihod trajektnog broda $k \in K_p$ na liniji $r \in R_t$ u periodu h [\$];
 v_k – cena kupovine trajektnog broda $k \in K_p$ [\$];
 s_{krh} – troškovi trajektnog broda kupljene flote $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$].

Ulazni parametri za unajmljenu flotu

$b3_{krh}$ – procenjeni prihod trajektnog broda $k \in K_c$ na liniji $r \in R_t$ u periodu h [\$];
 u_k – cena unajmljivanja trajektnog broda $k \in K_c$ za određeno vreme [\$];
 δ_{krh} – troškovi trajektnog broda unajmljene flote $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$].

Ukupni troškovi trajektne flote zavise od troškova putovanja ($w_{krh}, e_{krh}, f_{krh}$) i operativnih troškova (c_{krh}, l_{krh}) gde je

w_{krh} – cena plaćanja veza (sidrenja) trajektnog broda $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$];
 e_{krh} – troškovi snabdevanja vodom, strujom i troškovi odvoza smeća za trajektni brod $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$];
 f_{krh} – troškovi goriva trajektnog broda $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$];
 c_{krh} – troškovi posade trajektnog broda $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$];
 l_{krh} – troškovi maziva trajektnog broda $k \in K$ na liniji r u periodu h [\$].

Ukupni troškovi flote se računaju na osnovu sledećih izraza:

$$j_{krh} = w_{krh} + e_{krh} + f_{krh} + c_{krh} + l_{krh}, \quad k \in K_e, r \in R, h \in H \quad (6.4)$$

$$s_{krh} = w_{krh} + e_{krh} + f_{krh} + c_{krh} + l_{krh}, \quad k \in K_p, r \in R_t, h \in H \quad (6.5)$$

$$\delta_{krh} = w_{krh} + e_{krh} + f_{krh} + c_{krh} + l_{krh}, \quad k \in K_c, r \in R_t, h \in H. \quad (6.6)$$

Promenljive modela

Binarne promenljive

$$m_k = \begin{cases} 1, & \text{ukoliko je brod } k \in K_p \text{ kupljen;} \\ 0, & \text{inače;} \end{cases}$$

$$l_k = \begin{cases} 1, & \text{ukoliko je brod } k \in K_c \text{ unajmljen;} \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

Celobrojne promenljive

x_{krh} – ukupan broj putovanja trajektnog broda $k \in K_e$ koji je dodeljen liniji $r \in R$ u periodu h ;

y_{kr} – ukupan broj putovanja trajektnog broda $k \in K_p$ koji je dodeljen liniji $r \in R_t$ u periodu h ;

z_{krh} – ukupan broj putovanja trajektnog broda $k \in K_c$ koji je dodeljen liniji $r \in R_t$ u periodu h .

Realne promenljive

$p1_{kh}$ – iskorišćeno vreme broda $k \in K_p \cup K_c$ u periodu h ;

$$p_{1_{kh}} \in \mathbb{R}; p_{1_{kh}} \geq 0, \forall k \in K_p \cup K_c, \forall h \in H.$$

Promenljive koje su potrebne za računanje neiskorišćenog vremena su:

$$\beta_{1_{kh}} = \begin{cases} 1, & \text{ukoliko je brod } k \in K_p \text{ angažovan u periodu } h; \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

$$\gamma_{1_{kh}} = \begin{cases} 1, & \text{ukoliko je brod } k \in K_c \text{ angažovan u periodu } h; \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

Cilj je maksimizovati dobit (P) operatora trajektnog prevoza putnika. Dobit se računa kao razlika prihoda i troškova. Delovi funkcije cilja su grupisani prema dva kriterijuma: prvi se odnosi na razliku između prihoda i troškova (gubitaka), dok drugi razlikuje redovne i turističke linije. Kod ovog modela, dobit se ostvaruje transportujući meštane brodovima postojeće flote, kao i prevozom turista brodovima postojeće, kupljene ili unajmljene flote. Model pretpostavlja da nije dozvoljen prevoz meštana i turista istim brodom na jednoj liniji u identičnom periodu.

Kao što je navedeno, turisti se mogu prevoziti svim vrstama brodova. Da bi se izbegla pojava prevoza meštana i turista istim brodom, skupovima su definisane trajektne linije koje koriste obe vrste korisnika usluga prevoza u ovom modelu (R_l i R_t). Ova distinkcija u modelu je napravljena shodno preporukama datim u radu Findley i drugih (2018), gde autori ističu da su u situaciji prevoza meštana i turista, drugi često izloženi dodatnom čekanju na prevoz shodno dnevnom redu vožnje koji je uspostavljen na redovnim linijama. U takvim slučajevima turisti obično grupno i preko agencija iznajmljuju brodove za sopstvene usluge prevoza.

U takvim okolnostima, ovde je prihod od ovakvih usluga procenjen i u ulaznim podacima je data fiksna vrednost iznajmljivanja broda koja ne zavisi od broja korisnika prevoza koji se nalaze na njemu. Sa druge strane, troškovi broda ubrajaju troškove putovanja i operativne troškove, kao i gubitke koji su nastali kao rezultat neiskorišćenog vremena putovanja broda i praznih sedišta (neiskorišćenosti prevoznih kapaciteta).

Prema tome, ukupna dobit se računa prema izrazu (Škurić i drugi, 2020a):

$$\begin{aligned}
 P = & \sum_{k \in K_e} \left(-r_k - i_k - a_k + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_l} (cv_r D_{rh} - x_{krh} j_{krh}) \right) \\
 & + \sum_{k \in K_e} \left(-r_k - i_k - a_k + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_t} x_{krh} (b1_{krh} - j_{krh}) \right) \\
 & + \sum_{k \in K_p} \left((-v_k - r_k - i_k - a_k) m_k + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_t} y_{krh} (b2_{krh} - s_{krh}) \right) \\
 & + \sum_{k \in K_c} \left(-u_k l_k + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_t} z_{krh} (b3_{krh} - \delta_{krh}) \right) \\
 & - \sum_{h \in H} \sum_{k \in K_p} lu_{kh} (\beta 1_{kh} g_{kh} - p1_{kh}) - \sum_{h \in H} \sum_{k \in K_c} lu_{kh} (\gamma 1_{kh} g_{kh} - p1_{kh}) \\
 & - \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_l} \left(\left(\sum_{k \in K_e} x_{krh} q_k \right) - D_{rh} \right) cp_l \\
 & - \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_t} \left(\left(\sum_{k \in K_e} x_{krh} q_k + \sum_{k \in K_p} y_{krh} q_k + \sum_{k \in K_c} z_{krh} q_k \right) - D_{rh} \right) cp_t
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Funkcija cilja (6.7) se sastoji iz sedam delova, svaki je naveden u jednom redu formule. U prvom redu izraza, računa se dobit koja se ostvaruje prevozom meštana nastao kao razlika prihoda (ostvarenog kao rezultat množenja broja putnika i cene prevoza) i troškova brodova postojeće flote. Drugi red predstavlja dobit koja se odnosi na prevoz turista brodovima postojeće flote. Ova dobit se računa kao razlika procenjene dobiti od iznajmljivanja brodova postojeće flote i njihovih troškova. Treći i četvrti red računa dobit koja se ostvari prevozom turista brodovima kupljene i unajmljene flote, redom. Sledeće dve sume u petom redu predstavljaju troškove nastale kao gubitak ostvaren neiskorišćenim vremenom prevoza brodova kupljene i unajmljene flote kada brodovi nisu dodeljivani trajektnim linijama na pravi način. Poslednja dva reda izraza označavaju

troškove koji nastaju kao posledica neiskorišćenih prevoznih kapaciteta (praznih sedišta) na brodovima, tj. predstavljaju gubitak usled propuštene prilike za povećanje dobiti svih vrsta brodova.

Maksimizacija dobiti operatora trajektnog prevoza putnika mora zadovoljiti sledeća ograničenja (Škurić i drugi, 2020a):

$$\sum_{k \in K_e} q_k x_{krh} \geq D_{rh} \quad \forall r \in R_l, \quad \forall h \in H \quad (6.8)$$

$$\sum_{k \in K_e} q_k x_{krh} + \sum_{k \in K_p} q_k y_{krh} + \sum_{k \in K_c} q_k z_{krh} \geq D_{rh} \quad \forall r \in R_t, \quad \forall h \in H \quad (6.9)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in K_p} \left((v_k + r_k + i_k + a_k) m_k + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_t} s_{krh} y_{krh} \right) \\ & + \sum_{k \in K_c} \left(u_k l_k + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R_t} \delta_{krh} z_{krh} \right) \leq I \end{aligned} \quad (6.10)$$

$$\sum_{r \in R} t_{kr} x_{krh} \leq g_{kh} \quad \forall k \in K_e, \quad \forall h \in H \quad (6.11)$$

$$\sum_{r \in R_t} t_{kr} y_{krh} \leq g_{kh} \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.12)$$

$$\sum_{r \in R_t} t_{kr} z_{krh} \leq g_{kh} \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.13)$$

$$\sum_{k \in K_e} x_{krh} \geq n_{rh} \quad \forall r \in R_l, \quad \forall h \in H \quad (6.14)$$

$$\sum_{r \in R_t} y_{krh} - \beta 1_{kh} \geq 0 \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.15)$$

$$\beta 1_{kh} M \geq \sum_{r \in R_t} y_{krh} \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.16)$$

$$\sum_{r \in R_t} z_{krh} - \gamma 1_{kh} \geq 0 \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.17)$$

$$\gamma 1_{kh} M \geq \sum_{r \in R_t} z_{krh} \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.18)$$

$$M \cdot \beta 1_{kh} \geq p 1_{kh} \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.19)$$

$$\sum_{r \in R_t} y_{krh} t_{kr} \geq p 1_{kh} \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.20)$$

$$\sum_{r \in R_t} y_{krh} t_{kr} - (1 - \beta 1_{kh}) M \leq p 1_{kh} \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.21)$$

$$p 1_{kh} \geq 0 \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.22)$$

$$M \cdot \gamma 1_{kh} \geq p 1_{kh} \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.23)$$

$$\sum_{r \in R_t} z_{krh} t_{kr} \geq p 1_{kh} \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.24)$$

$$\sum_{r \in R_t} z_{krh} t_{kr} - (1 - \gamma 1_{kh}) M \leq p 1_{kh} \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.25)$$

$$p 1_{kh} \geq 0 \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.26)$$

$$\sum_{r \in R_t} y_{krh} - m_k \geq 0 \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.27)$$

$$m_k M \geq \sum_{r \in R_t} y_{krh} \quad \forall k \in K_p, \quad \forall h \in H \quad (6.28)$$

$$\sum_{r \in R_t} z_{krh} - l_k \geq 0 \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.29)$$

$$l_k M \geq \sum_{r \in R_t} z_{krh} \quad \forall k \in K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.30)$$

$$x_{krh}, y_{krh}, z_{krh} \geq 0 \text{ i celobrojna, } \forall k \in K, \forall r \in R, \forall h \in H, \\ K_e, K_p, K_c, K, R_l, R_t \in R \quad (6.31)$$

$$p1_{kh} \in \mathbb{R}; p1_{kh} \geq 0, \quad \forall k \in K_p \cup K_c, \quad \forall h \in H \quad (6.32)$$

$$\beta1_{kh}, \gamma1_{kh}, m_k, l_k \in \{0,1\}. \quad (6.33)$$

Ovde M predstavlja konstantu dovoljno velike vrednosti.

Ograničenja za potražnju data izrazima (6.8) i (6.9) podrazumevaju da ukupan prevozni kapacitet dodeljenih brodova može biti jednak ili veći od ukupne potražnje za prevozom (ukoliko je reč o redovnoj liniji, onda važi $r \in R_l$, dok $r \in R_t$ važi u slučaju kada se na linijama prevoze turisti). Ukoliko je potrebno, operator može kupiti ili unajmiti brod, pri čemu ova investicija ne sme da pređe dozvoljeni budžet dat izrazom (6.10). Ukupno dozvoljeno vreme za prevoz putnika brodovima postojeće, kupljene ili unajmljene flote ne sme preći maksimalno vreme prevoza broda tokom perioda h (izrazi 6.11-6.13). Ograničenje (6.14) odnosi se na minimalan broj realizovanih putovanja od strane brodova postojeće flote na liniji r (namenjenoj meštanima) u periodu h . Ovo ograničenje ima za cilj da obezbedi konstantnu frekvenciju prevoza na redovnim trajektnim linijama. Da bi se izbegla nelinearnost modela (proizvod dve binarne promenljive) pri računanju ukupnog broja putovanja broda $k \in K_p$ koji je dodeljen liniji $r \in R_t$ u periodu h , moraju se zadovoljiti ograničenja (6.15)-(6.16). U slučaju računanja ukupnog broja putovanja broda $k \in K_c$ koji je dodeljen liniji $r \in R_t$ u periodu h , moraju se zadovoljiti izrazi (6.17)-(6.18). Dalje, izrazi (6.19)-(6.22) su uključeni da bi se izbegla nelinearnost modela (proizvod binarne i neprekidne promenljive) pri računanju

neiskorišćenog vremena prevoza broda $k \in K_p$ u periodu h . Analogno, izrazi (6.23)-(6.26) su dati da bi se izbegla nelinearnost modela (proizvod binarne i neprekidne promenljive) pri računanju neiskorišćenog vremena prevoza broda $k \in K_c$ u periodu h . Zahvaljujući izrazima (6.27)-(6.30) izbegnut je proizvod dve binarne promenljive koje bi uslovile nelinearnost kod dodeljivanja brodova kupljene i unajmljene flote. Prema tome, izrazi (6.15)-(6.30) su uvedeni da linearizuju predloženi model. Ograničenja (6.31)-(6.33) opisuju tip promenljivih modela (Škurić i drugi, 2020a).

6.3. Složenost modela

Složenost modela zavisi od broja promenljivih i broja ograničenja. U predloženom modelu, broj promenljivih zavisi od kardinalnosti odgovarajućih skupova. Tabela 6.1 sumira broj promenljivih modela razvrstanih po tipovima.

Tabela 6.1. Tipovi promenljivih i njihov broj

Tip promenljivih	Ime promenljive			
	Kardinalnost			
Binarne	m_k	l_k	$\beta 1_{kh}$	$\gamma 1_{kh}$
	$ K_p $	$ K_c $	$ K_p \cdot H $	$ K_c \cdot H $
Celobrojne	x_{krh}	y_{krh}	z_{krh}	
	$ K_e \cdot R_l \cup R_t \cdot H $	$ K_p \cdot R_t \cdot H $	$ K_c \cdot R_t \cdot H $	
Realne	$p 1_{kh}$			
	$ K_p \cup K_c \cdot H $			

U modelu postoje četiri skupa binarnih promenljivih, dva jednodimenziona i dva dvodimenziona. $|\cdot|$ predstavlja kardinalnost odgovarajućih skupova. Sve celobrojne promenljive su trodimenzione, a realne su dvodimenzione. Ukupan broj ograničenja dobija se sumiranjem kardinalnosti pojedinih skupova ograničenja i iznosi:

$$1 + |H|(2|R_l| + |R_t| + |K_e| + 9|K_p| + 9|K_c|). \quad (6.34)$$

7. PRIMENA HEURISTIKA

7.1. Uvod

Algoritmi za rešavanje različitih optimizacionih problema u saobraćaju su našli veliku primenu u naučnim istraživanjima u poslednje dve decenije. Kao razlozi za navedeno se mogu izdvojiti: napredak u teoriji matematičkog programiranja i strukturi algoritama, znatno unapređenje performansi računara i bolja integracija sa kompleksnim softverskim paketima. Takođe, mnogi primeri su testirani i uspešno rešavani, naročito oni koji pripadaju klasi teških problema i to za veoma kratko vreme rada računara. U tome, veliku primenu beleže heuristike koje su korišćene u razne naučne svrhe. Primena ovih metoda se može naći u: teoriji lokacije, raspoređivanju vozila, rutiranju vozila, mrežnim problemima, veštačkoj inteligenciji, inženjerstvu, biologiji, geometriji, telekomunikacijama, različitim vidovima saobraćaja, itd.

Mnogi problemi kombinatorne optimizacije, uključujući veliki broj praktičnih problema u ekonomiji, inženjerstvu i nauci, mogu se formulisati pomoću MILP modela i rešavati primenom odgovarajućih tehnika i metoda. Specijalni slučajevi problema kao što su *problemi ranca*, *problemi trgovačkog putnika* i drugi, poznati su u literaturi kao nedeterministički u *polinomijalnom* vremenu, skraćeno *NP-teški* problemi (eng. *non-deterministic polynomial-time hardness*). Za njihovo rešavanje se koriste specifične metode, najčešće inkorporirane u (komercijalne) solvere (softverske pakete koji se koriste kao praktičan alat, tzv. *crna kutija*). Jedan od najpoznatijih egzaktnih solvera je ILOG CPLEX (CPLEX, 2015) koji je primenjen i u ovoj doktorskoj disertaciji.

Kako egzaktni solveri zahtevaju mnogo računarskih resursa, pre svega CPU vremena i memorije, u praksi se sve više koriste približne metode, tzv. heuristike. One ne garantuju optimalnost rešenja, ali uglavnom omogućavaju dobijanje sub-optimalnih rešenja visokog kvaliteta za veoma kratko CPU vreme. Ove metode su najčešće specifične za svaki konkretan problem koji se razmatra. Najgrublje se mogu podeliti na konstruktivne (koje generišu rešenja) i iterativne (koje popravljaju već postojeća rešenja). Pre oko tri decenije nastale su uopštene heurističke metode, nazvane *metaheuristikama*.

Metaheuristike ne zavise od problema, već predstavljaju skup pravila koji definiše kako implementirati heurističku metodu za svaki pojedinačni razmatrani problem.

Jedna od najpoznatiji metaheurističkih metoda je *metoda promenljivih okolina* (eng. *Variable Neighborhood Search - VNS*), koju su predložili Mladenović i Hansen (1997). Osnovna ideja ove metode je sistematska promena okolina u algoritamskoj strukturi. Obeležimo sa \mathcal{N}_k , ($k = 1, \dots, k_{max}$) konačan skup unapred odabranih struktura okolina, dok $\mathcal{N}_k(x)$ predstavlja skup rešenja u k -toj okolini dopustivog rešenja x . Većina heuristika baziranih na lokalnom pretraživanju (eng. *Local Search - LS*) pretražuju dopustiva rešenja u samo jednoj okolini, tj. $k_{max} = 1$. Uobičajeno je da se uzastopne okoline \mathcal{N}_k grupišu i definišu pomoću jedne ili više metričkih (skoro-metričkih) funkcija koje su sastavni deo prostora rešenja ζ . Optimalno rešenje x_{opt} (ili globalni optimum) je dopustivo rešenje koje odgovara rešenju sa najboljom mogućom vrednošću. $x' \in X$ je lokalni minimum u okviru okoline \mathcal{N}_k ukoliko ne postoji rešenje x takvo da je $x \in \mathcal{N}_k(x') \subseteq X$ i da važi $f(x) < f(x')$. Metaheuristike koje se oslanjaju na lokalno pretraživanje koriste dodatne tehnike (poznate kao izbegavanje zamke lokalnog optimuma) u pronalaženju novog rešenja nakon pronalaska prvog lokalnog minimuma (Hansen i drugi, 2018).

Tokom svoje duge primene, VNS metoda se pokazala kao veoma efikasna metaheuristička metoda i koristila se u raznim problemima kombinatorne i neprekidne optimizacije (videti: Hansen i drugi, 2010; Hansen i drugi, 2018). Takođe, VNS je prilagođavana, tako da su vremenom nastale nove varijante pogodne za rešavanje problema velikih dimenzija (Hansen i drugi, 2017). Jedna od najznačajnijih varijanti razvijena je za rešavanje problema trgovačkog putnika i nazvana *metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom* (eng. *Variable Neighborhood Decomposition Search – VNDS*) koju su razvili Hansen i drugi (2001). Kod ove metode karakteristično je da se smanjuje prostor pretrage tako što se fiksiraju vrednosti nekih promenljivih modela i dobija podproblem manjih dimenzija koji je onda lakši za rešavanje. Konačna rešenja dobijaju se sklapanjem fiksiranih delova i rezultata optimizacije podproblema.

U cilju stvaranja još moćnijih metoda za rešavanje optimizacionih problema, u literaturi su poznate različite metode koje kombinuju metaheuristike i egzaktne solvere.

Njihova specifičnost je u tome da se metaheuristička pravila koriste da definišu podprobleme na koje se primenjuju egzakti solveri (Archetti i Speranza, 2014, Škurić i drugi, 2020a). Ove metode poznate su pod nazivom *matheuristike*. Na primeru optimizacije kontejnerskog prevoza na unapred zadatim transportnim linijama u unutrašnjoj plovidbi, Maraš i drugi (2013) su predložili matematičku formulaciju problema u cilju ostvarenja veće dobiti operatora i rešili isti primenom CPLEX MIP egzaktnog solvera i različitih matheuristika. Primenili su sledeće metode: lokalno grananje (eng. *Local Branching* - LB), metodu grananja kroz promenljive okoline (eng. *Variable Neighborhood Branching* - VNB) i metodu promenljivih okolina sa dekompozicijom za 0-1 MIP (eng. *Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP* - VNDS 0-1 MIP). Matheuristički pristup problema rutiranja je istražen u radu Archetti i Speranza (2014) u kojem je izvršena klasifikacija korišćenih matheuristika koje kombinuju heurističke sheme i modele matematičkog programiranja, sa posebnim naglaskom na metodu promenljivih okolina (VNS). Za razliku od prethodnih istraživanja, nedavno su Guastaroba i drugi (2017) razvili novu metodu pod nazivom *Adaptive Kernel Search* i testirali njenu primenu pri rešavanju specifičnih problema mešovito celobrojnog linearnog programiranja. U poređenju sa drugim tehnikama, ova adaptivna metoda je generisala kvalitetnije rezultate za kraće vreme rada računara.

Jedna od prvih matheuristika zasnovanih na VNS metodi je *metoda grananja kroz promenljive okoline* (eng. *Variable Neighborhood Branching* - VNB) koju su razvili Hansen i drugi (2001). Lazić i drugi (2010) su predstavili hibridnu heuristiku zasnovanu na VNDS metodi koja je korišćena za rešavanje problema 0-1 (VNDS 0-1 MIP). Eksperimentalna testiranja u navedenoj studiji su pokazala superiornost VNDS 0-1 MIP metode u odnosu na komercijalni CPLEX MIP solver, VNB metodu i druge matheuristike koje su bazirane na lokalnom pretraživanju. U radu Jovanović i drugi (2015) predstavljena je nova hibridna metoda koja je inspirisana VNDS 0-1 MIP metodom razvijenom od strane Lazić i drugi (2010) i *metodom lokalnog pretraživanja promenljivog intenziteta* (eng. *Variable Intensity Local Search* – VILS) koju su predložili Mitrović-Minić i Punnen (2009a,b). Ta metoda je poznata pod nazivom *metoda pretrage okolina promenljivog intenziteta* (eng. *Variable Intensity Neighborhood Search* – VINS) i podrazumeva

sistematične promene kako vrsta (tipova) okolina tako i njihovih veličina uz odgovarajuća vremenska ograničenja za podprobleme (Jovanović i drugi, 2015). U analizi numeričkih primera VINS metoda je pokazala bolje performanse od VNDS 0-1 MIP heuristike za benčmark probleme iz MIPLib biblioteke i za primere problema rutiranja kontejnerskih brodova u unutrašnjoj plovidbi razmatranih u radu Maraš i drugi (2013). Navedene tri matheuristike primenjene su u okviru istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji. U istraživanju koje su obavili Hanafi i Todosijević (2017), autori su ukazali na važnost heuristika i matematičkog programiranja za rešavanje različitih problema kombinatorne optimizacije.

Pre nego što opišemo matheuristike korišćene u ovoj disertaciji, uvedimo neophodnu notaciju. Da bi se predstavila struktura okolina u prostoru binarnih promenljivih, potrebno je odrediti rastojanje između dva rešenja $x = (x_1, \dots, x_n)$ i $x' = (x'_1, \dots, x'_n)$. Primenjujemo Hamingovo rastojanje, pri čemu je (Davidović i Matijević, 2020):

$$\delta(x, x') = \sum_i |x_i - x'_i|, \tag{7.1}$$

gde je i podskup binarnih promenljivih. Ako označimo originalni MIP problem sa P , onda $LP(P)$ predstavlja linearnu relaksaciju koja se dobija kada se iz problema P isključe zahtevi celobrojnosti promenljivih. Rešenje $LP(P)$ se obično obeležava sa y . Rastojanje iz izraza (7.1) se može uopštiti do $\delta(x, y)$ gde $|x_i - y_i|$ može uzeti bilo koju vrednost iz intervala $[0,1]$. $(P|C)$ se koristi da obeleži podproblem u P koji se dobija dodavanjem novog skupa ograničenja C , dok $P(k, x) = (P|\delta(x, x') \leq k)$, za $k = 1, 2, \dots$ označava podprostor rešenja za P koji sadrži sva i samo ona rešenja x' čija rastojanja od datog rešenja x idu najviše do k . $P(k, x)$ se može koristiti da odredi okoline (Davidović i Matijević, 2020):

$$\mathcal{N}_k(x) = \{x' \in X \mid \delta(x, x') \leq k\}. \tag{7.2}$$

Okolina $\mathcal{N}_k(x)$ sadrži sva rešenja x' koja se od rešenja x razlikuju u najviše k binarnih promenljivih. Lako se može uočiti da je $\mathcal{N}_k(x) \subset \mathcal{N}_{k+1}(x)$, tako da ako je $\mathcal{N}_{k+1}(x)$ u potpunosti istražena okolina, nije potrebno onda pretraživati okolinu $\mathcal{N}_k(x)$. Alternativni način za određivanje okolina je korišćenje stanja promenljivih. Svaka binarna promenljiva može biti u jednom od dva moguća stanja, a to su fiksirano i relaksirano. Fiksirano stanje promenljive podrazumeva da egzaktnom MIP solveru nije dozvoljeno da menja njenu vrednost tokom procesa optimizacije. Sa druge strane, želimo da optimizacioni solver nađe najbolju vrednost promenljive u relaksiranom stanju. Strukture i veličina okolina su definisane, redom, indeksima i brojem relaksiranih promenljivih. Lokalno pretraživanje prostora binarnih promenljivih se obavlja tako što se poziva egzaktni solver za podproblem $(P|C)$ (dobijen dodavanjem skupa ograničenja C originalnom problemu P). Egzaktnom solveru je omogućeno da izvršava pretragu do određenog vremenskog ograničenja da bi se izbegla duga pretraga u slučaju kada je definisan velikih okolina. Odluka o sledećem koraku se donosi na bazi povratnog statusa egzaktnog solvera i razlikuje se kod svake matheuristike koja se koristi. Korišćene matheuristike u ovoj disertaciji primenjuju VNS pravilo za dobijanje inicijalnog rešenja i podproblema, dok se CPLEX egzaktni solver koristi kao procedura za lokalno pretraživanje da bi unapredilo trenutno najbolje rešenje (Davidović i Matijević, 2020).

7.2. Metoda grananja kroz promenljive okoline (VNB)

Ova matheuristika se sastoji od lokalnog pretraživanja okolina uz pomoć definicije rastojanja između dva rešenja i egzaktnog MIP solvera. Rastojanje se kontroliše dodavanjem u model novih ograničenja koja se odnose na binarne promenljive i opisuju podproblem na koji se primenjuje egzaktni solver (Fischetti i Lodi, 2003). Kako je opisano u radu Hansen i drugi (2006), VNB je nastala kao rezultat kombinovanja procedura koje su definisane VNS metodom i LB metodom opisanom u radu Fischetti i Lodi (2003) za rešavanje 0-1 MIP problema pri čemu se MIP solver koristi kao *crna kutija*. Ova metoda se inače smatra generalizacijom LB metode pri čemu se strukture okolina istražuju na sistematičniji način. Okoline za pretraživanje su definisane

primenom Hamingovog rastojanja. Slično kao LB, i VNB metoda dodaje ograničenja za opisivanje podskupova promenljivih u originalnom problemu. VNB metoda je opisana u radu Hansen i drugi (2006). Ulazni parametri za ovu metodu su 0-1 MIP problem P , VNS parametri k_{min} , k_{step} , k_{max} , maksimalno dozvoljeno CPU vreme T_{max} i vreme za podprobleme t_{lim} . Pseudokod za VNB metodu je prikazan na slici 7.1.

```

procedure VNB( $P, T_{max}, t_{lim}, k_{min}, k_{max}, k_{step}$ )
   $IntSolLim \leftarrow 1; TL \leftarrow T_{max}$ 
   $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
  if ( $status = no\_feasible$ ) then
    Print("The problem cannot be solved within the given time limit.")
    Exit
  else
     $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x); x' \leftarrow x; f' \leftarrow f(x)$ 
  end if
   $t \leftarrow 0$ 
  while ( $t < T_{max}$ ) do ▷ Main VNB loop
     $cont \leftarrow True; k \leftarrow 1; k_1 \leftarrow k_{min}; IntSolLim \leftarrow MaxSol$ 
    while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do ▷ VND
       $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}$ 
       $AddConstraint(d(x', x) \leq k)$ 
       $status \leftarrow MIPSolve(P|C, TL, IntSolLim, x'')$ 
       $RemoveConstraint(d(x', x) \leq k)$ 
      switch ( $status$ ) do
        case  $no\_feasible$  :
           $cont \leftarrow False$ 
        case  $opt\_sol$  :
           $AddConstraint(d(x', x) \geq k + 1)$ 
           $x' \leftarrow x''; f' \leftarrow f(x''); k \leftarrow 1$ 
        case  $feasible\_sol$  :
           $AddConstraint(d(x', x) \geq 1)$ 
           $x' \leftarrow x''; f' \leftarrow f(x''); k \leftarrow 1$ 
        case  $in\_feasible$  :
           $k \leftarrow k + 1$ 
      end switch
       $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    end while ▷ // Move or Not
    if ( $f' < f_{best}$ ) then
       $x_{best} \leftarrow x'; f_{best} \leftarrow f(x'); k_1 \leftarrow 1$ 
    else
       $k_1 \leftarrow k_1 + k_{step}; \mathbf{if} (k_1 > k_{max}) \mathbf{then} k_1 \leftarrow k_{min}$ 
    end if
     $cont \leftarrow True; k_1 \leftarrow k_{min}; IntSolLim \leftarrow 1$  ▷ // Shaking
    while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do
       $TL \leftarrow T_{max} - t$ 
       $AddConstraint(k_1 \leq d(x_{best}, x) \leq k_1 + k_{step})$ 
       $status \leftarrow MIPSolve(P|C, TL, IntSolLim, x')$ 
      if ( $status = in\_feasible \vee status = no\_feasible$ ) then
         $k_1 = k_1 + k_{step}$ 
      else
         $cont \leftarrow False$ 
      end if
       $RemoveConstraint(k_1 \leq d(x_{best}, x) \leq k_1 + k_{step})$ 
       $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    end while
  end while
  return ( $x_{best}, f_{best}$ )
end procedure

```

Slika 7.1. Pseudokod za VNB metodu (Davidović i Matijević, 2020)

VNB dodaje ograničenja originalnom problemu P i generiše podprobleme koji se istražuju u fazama LS i razmrđavanju (eng. *Shaking* - SH). Inicijalno rešenje se dobija kao prvo dopustivo rešenje generisano CPLEX solverom. Ono je ujedno i trenutno najbolje rešenje. Umesto standardnog lokalnog pretraživanja, VNB metoda koristi spust kroz promenljive okoline (eng. *Variable Neighborhood Descent* - VND) (Hansen i drugi, 2017). Okoline se definišu dodavanjem ograničenja (7.2) originalnom modelu koja su bazirana na Hamingovom rastojanju (7.1). Vrednost k je ažurirana u skladu sa povratnim statusom CPLEX solvera. Ustvari, VNB koristi dva indeksa da računa okoline, k i k_1 . Indeks k računa okoline kod VND metode, dok je kod SH faze korišćen indeks k_1 (Davidović i Matijević, 2020).

Diversifikacija kod VNB metode (SH faza) se izvršava pozivanjem CPLEX solvera za dobijanje prvog dopustivog rešenja unutar diska kojeg definišu poluprečnici k_1 i $k_1 + k_{step}$. Ukoliko je potrebno, veličina diska se povećava dok se ne nađe dopustivo rešenje. VND se realizuje izvršavanjem CPLEX solvera na definisanim podproblemima do trenutka isteka unapred zadatog vremenskog ograničenja t_{lim} . Vrednost trenutnog indeksa okoline k kontroliše podprobleme. Na početku VND pretraživanja, zadato je $k = 1$. Ukoliko CPLEX solver dokaže da ne postoji dopustivo rešenje u trenutnoj okolini k , vrednost k se povećava za 1. U slučaju da u $\mathcal{N}_k(x)$ CPLEX pronađe optimalno rešenje ili bolje dopustivo rešenje, bolji rezultat se beleži i vrednost k se postavlja na 1. Sa druge strane, ukoliko dopustivo rešenje ne bude pronađeno u zadanom vremenu t_{lim} , VND procedura se završava i VNB metoda preuzima dalju kontrolu algoritmom. Faza pomeraja (Move or Not step) se izvršavaju na standardan način (Hansen i drugi, 2010).

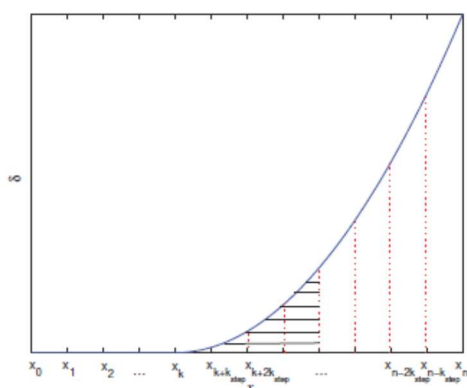
Primećuje se da maksimalan broj okolina u VND metodi nije zadat. Naravno, nema svrhe da k ili k_1 imaju vrednost veću od broja binarnih promenljivih u problemu P . U tom slučaju, VNB metoda se pojavljuje u ulozi egzaktnog algoritma i CPLEX solver se koristi za rešavanje celog problema P . U vezi sa VNB algoritmom, potrebno je napomenuti i da se koraci SH i LS (VND) izvršavaju obrnutim redosledom u odnosu na VNS. To je opravdano time da se prvo dopustivo rešenje smatra rezultatom SH faze u celom prostoru pretraživanja (Hansen i drugi, 2006).

7.3. Metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom za 0-1 MIP (VNDS 0-1 MIP)

VNDS metoda je predstavljena u radu Hansen i drugi (2001) i koristila se za rešavanje teških optimizacionih problema. Reč je o optimizacionoj shemi na dva nivoa koja je bazirana na VNS metodi i dekompoziciji originalnog problema na više podproblema. Jednom kada su podproblemi rešeni, rešenje za ceo problem se dobija kombinovanjem delova koji odgovaraju rešenjima podproblema. VNDS 0-1 MIP metoda se pojavila u radu Lazić i drugi (2010). Ova metoda primenjuje VNDS shemu na skup binarnih promenljivih za razlaganje originalnog problema. Na svakom koraku, originalni problem P je podeljen na dva dela: u prvom delu su vrednosti promenljivih u fiksiranom stanju i ovaj deo ostaje nepromenjen; drugi deo se sastoji od relaksiranih promenljivih čije se vrednosti određuju uz pomoć MIP solvera u zadatom vremenskom ograničenju (Davidović i Matijević, 2020).

Prvi korak VNDS 0-1 MIP metode podrazumeva pronalazak celobrojnog dopustivog rešenja x za originalni optimizacioni problem P , kao i optimalno rešenje y za linearnu relaksaciju $LP(P)$. Trenutno najbolje rešenje x_{best} postavlja se na x . Koristeći opštu definiciju za rastojanje $\delta(x, y)$, binarne promenljive se sortiraju u neopadajućem redosledu u odnosu na $|x_i - y_i|$. Preciznije, ako je $p = |\mathcal{B}|$ (\mathcal{B} je skup binarnih promenljivih) i $\delta_j = |x_j - y_j|$, $j \in \mathcal{B}$, onda su x_j , $j = 1, 2, \dots, p$ sortirani u takvom redosledu da je $\delta_1 \leq \delta_2 \leq \dots \leq \delta_p$. Podproblemi u VNDS 0-1 MIP metodi se generišu menjanjem statusa binarnih promenljivih, tačnije, fiksiranjem vrednosti podskupa binarnih promenljivih na vrednosti u trenutno najboljem rešenju x_{best} .

Promenljive koje se fiksiraju su one čije su vrednosti bliže odgovarajućim vrednostima u linearnoj relaksaciji problema (slika 7.2). Ostale promenljive su relaksirane i njihov broj definiše veličinu podproblema (okoline za pretraživanje) koji se rešava uz pomoć CPLEX solvera u zadatom CPU vremenskom ograničenju t_{lim} . Na slici 7.2, promenljive na levoj strani (uključujući osenčeni deo) su fiksirane, dok su ostale promenljive relaksirane i njihove vrednosti biće postavljene nakon završetka rada CPLEX solvera (Davidović i Matijević, 2020).



Slika 7.2. Ilustracija generisanja podproblema kod VNDS 0-1 MIP metode
(preuzeto od: Davidović i Matijević (2020))

Nakon sortiranja binarnih promenljivih, određuje se vrednost $q = |\{j \in \mathcal{B}, t.d. \delta_j = 0\}|$, tj. broj binarnih promenljivih koje imaju istu vrednost u trenutno najboljem rešenju x_{best} i u rešenju linearne relaksacije y . Tako dobijeno q koristi se za računanje parametara k_{min} , k_{max} i k_{step} , kao što je prikazano na slici 7.3 (pseudokod). Sada je moguće fiksirati/relaksirati odgovarajuće podskupove promenljivih i izvršiti CPLEX solver na dobijenom podproblemu u zadatom vremenskom ograničenju.

Ako CPLEX solver uspe da popravi trenutno najbolje rešenje, VND metoda (ista koja se koristi u VNB metodi) poziva se u pokušaju dodatnog unapređenja čime se dobija novi x_{best} . U suprotnom, povećava se okolina za pretraživanje tj. generiše novi podproblem. U slučaju kada podproblem uključuje sve promenljive sa pozitivnim rastojanjem od odgovarajućih vrednosti u rešenju linearne relaksacije ($k + k_{step} > k_{max}$), pretraživanje se proširuje i na preostale binarne promenljive fiksiranjem polovine po polovine njihovog broja. U slučaju da su sve ostale binarne promenljive relaksirane tokom pretraživanja (što znači da je ceo problem razmatran kao podproblem i rešavan uz pomoć CPLEX solvera), VNDS 0-1 MIP metoda se ovde završava (indikator *execute* postavlja se na *False*, videti sliku 7.3).

Ovo znači da je ili CPLEX solver uspeo da reši originalni problem P (optimalno rešenje je nađeno) ili je dostignuto maksimalno vreme pretrage T_{max} i najbolje pronađeno dopustivo rešenje x_{best} se prijavljuje kao konačno. Kako je VNDS 0-1 MIP metodom moguće dokazati optimalnost konačnog rešenja, ukoliko postoji dovoljno vremena i

memorije računara, može se smatrati da ova metoda predstavlja egzaktnu metodu za rešavanje optimizacionih problema (Davidović i Matijević, 2020).

```

procedure VNDS-MIP( $P, T_{max}, t_{lim}$ )
   $IntSolLim \leftarrow 1; TL \leftarrow T_{max}$ 
   $lpstat \leftarrow LPSolve(P, TL, y)$ 
   $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
  if ( $status = no\_feasible$ ) then
    Print("The problem cannot be solved within the given time limit.")
    Exit
  else
     $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x); x' \leftarrow x; f' \leftarrow f(x); p \leftarrow |B|$ 
  end if
   $t \leftarrow 0; execute \leftarrow True$ 
  while ( $execute \wedge t < T_{max}$ ) do ▷ Main VNDS-MIP loop
    Calculate( $\delta$ );  $x \leftarrow Sort(x_{best}, y); q \leftarrow \{j \in B, s.t. \delta_j = 0\} |$ 
     $k_{max} \leftarrow p - q; k_{min} \leftarrow k_{max} / 10; k_{step} \leftarrow k_{min}; k \leftarrow k_{min}$ 
     $cont \leftarrow True; IntSolLim \leftarrow MaxSol$ 
    while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do ▷ Local Search
       $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}; improved \leftarrow True$ 
      FixAndRelease( $P, k$ )
      AddConstraint( $f(x), L, f_{best}$ )
       $status \leftarrow MIPSolve(P|C, TL, IntSolLim, x')$ 
      ReleaseAll( $P|C$ )
      if ( $status = no\_feasible \vee status = infeasible$ ) then
         $improved \leftarrow False$ 
      end if
      if ( $improved$ ) then ▷ Move or Not
        VND( $P, T_{max}, t_{lim}, k, x', x', f'$ )
         $x_{best} \leftarrow x'; f_{best} \leftarrow f(x'); k \leftarrow k_{min}; cont \leftarrow False$ 
      else
        if ( $k + k_{step} > k_{max}$ ) then  $k_{step} \leftarrow \max\{[k/2], 1\}$ 
        if ( $k \leq p$ ) then
           $k \leftarrow k + k_{step}$ 
        else
           $execute \leftarrow False$ 
        end if
      end if
       $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    end while
  end while
  return ( $x_{best}, f_{best}$ )
end procedure

```

Slika 7.3. Pseudokod za VNDS 0-1 MIP metodu (Davidović i Matijević, 2020)

7.4. Metoda pretrage okolina promenljivog intenziteta (VINS)

VINS metodu su razvili Jovanović i drugi (2015). Reč je o hibridnoj heuristici koja predstavlja kombinaciju VNDS 0-1 MIP i VILS metode predložene od strane Mitrović-Minić i Punnen (2009a,b). VILS metoda razvijena je za opšti problem dodeljivanja različitih vrsta resursa. Ideja razvoja VINS metode je generalizacija obe komponente koje se kombinuju: VNDS 0-1 MIP deo se primenjuje na različite tipove okolina koje su opšteg

tipa (tj. ne zavise od problema kao kod VILS metode). Pored uvođenja različitih tipova okolina, menja se i njihova veličina, ali i odgovarajuće dozvoljeno vreme za njihovu pretragu. Zbog toga, umesto jedne promenljive t_{lim} imamo niz vrednosti za vremenska ograničenja (Davidović i Matijević, 2020). Na početku VINS metode rešava se linearna relaksacija MIP problema, a zatim se nalazi prvo dopustivo rešenje. Odgovarajuća rešenja se obeležavaju redom sa y i x . Kao i kod VNDS 0-1 MIP metode, nalazi se rastojanje između x i y na osnovu uopštenog izraza (7.1) i promenljive se sortiraju u neopadajućem redosledu vrednosti odgovarajućih rastojanja. Kod VNDS 0-1 MIP metode, polazi se od pretpostavke da promenljive koje su blizu vrednostima u rešenju linearne relaksacije mogu ponuditi manje prostora za popravljavanje rešenja, što ne mora uvek da bude slučaj. Zbog toga su u VINS metodi definisani sledeći tipovi okolina (Jovanović i drugi, 2015; Davidović i Matijević, 2020):

- N1: relaksira se $\alpha\%$ najgorih promenljivih, tj. onih koje su najudaljenije od odgovarajućih vrednosti u rešenju linearne relaksacije. Ovo je okolina koja se koristi i u VNDS 0-1 MIP metodi;
- N2: skup promenljivih je podeljen na 10 jednakih delova i $\alpha/10\%$ najgorih promenljivih se relaksira u svakom delu;
- N3: relaksira se $\alpha\%$ promenljivih počevši od slučajno izabrane pozicije;
- N4: počev od 10 slučajno izabranih pozicija, relaksira se $\alpha/10\%$ promenljivih;
- N5: relaksira se $\alpha\%$ najboljih promenljivih (onih čije vrednosti su najbliže odgovarajućim vrednostima u rešenju linearne relaksacije);
- N6: skup promenljivih je podeljen na 10 jednakih delova i u svakom od njih se relaksira $\alpha/10\%$ najboljih promenljivih;
- N7: $\alpha/2\%$ najboljih i $\alpha/2\%$ najgorih promenljivih se relaksiraju;
- N8: skup promenljivih je podeljen na 10 jednakih delova i u svakom se primenjuje identična procedura kao u okolini N7;
- N9: slučajno se izabere $\alpha\%$ promenljivih za relaksiranje;
- N10: skup promenljivih je podeljen na 10 jednakih delova i u svakom se relaksira $\alpha/10\%$ slučajno izabranih promenljivih.

Vrednost paramtera α određuje veličinu okoline, tj. procenat promenljivih koje će biti relaksirane i formirati podproblem za CPLEX solver. Pored mogućnosti menjanja vrste okoline, VINS metoda omogućava i promenu veličine okoline za davanjem različitih ulaznih vrednosti za parametar α . Sve te vrednosti zadaju se u rastućem nizu α uz odgovarajuće vrednosti vremenskih ograničenja t_{lim} za pretragu u CPLEX solveru. Kompletna procedura rada VINS metode je data na slici 7.4 (Davidović i Matijević, 2020).

```

procedure VINS( $P, T_{max}, alphas, time\_limits$ )
   $IntSolLim \leftarrow 1; TL \leftarrow T_{max}$ 
   $lpstat \leftarrow LPSolve(P, TL, y)$ 
   $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
  if ( $status = no\_feasible$ ) then
    Print("The problem cannot be solved within the given time limit.")
    Exit
  else
     $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x_{best})$ 
  end if
   $t \leftarrow 0; cont \leftarrow True$ 
   $N \leftarrow N1$ 
   $\alpha \leftarrow Alpha1$ 
   $TL \leftarrow TimeLimit1$ 
   $IntSolLim \leftarrow \infty$ 
   $x \leftarrow Sort(x_{best}, y)$  ▷ Main VINS loop
  while ( $cont \wedge t < T_{max}$ ) do
     $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}$ 
     $FixAndRelease(N, \alpha)$ 
     $status \leftarrow MIPSolve(P|C, TL, IntSolLim, x)$ 
     $improvement \leftarrow Improved(x)$  ▷ Checking for Improvement
    if ( $improvement$ ) then
       $x_{best} \leftarrow x; f_{best} \leftarrow f(x)$ 
       $AddConstraint(f(x), L, f_{best})$ 
       $x \leftarrow Sort(x_{best}, y)$  ▷ Move Step
    end if
     $N \leftarrow NextNeighborhood$ 
     $t \leftarrow GetUserTime()$ 
    if ( $N = null$ ) then
       $N \leftarrow N1$ 
       $\alpha \leftarrow NextAlpha$ 
       $t_{lim} \leftarrow NextTimeLimit$  ▷ Final improvement of the whole problem
      if ( $\alpha = null$ ) then
         $TL \leftarrow \min\{t_{lim}, T_{max} - t\}$ 
         $status \leftarrow MIPSolve(P, TL, IntSolLim, x)$ 
         $cont \leftarrow False$ 
      end if
    end if
  end while
  return ( $x_{best}, f_{best}$ )
end procedure

```

Slika 7.4. Pseudokod za VINS metodu (Davidović i Matijević, 2020)

Za razliku od VNB i VNDS 0-1 MIP metoda, VINS ne primenjuje strategiju prvog poboljšanja prilikom promene okoline za pretragu. Okoline se kod VINS metode pretražuju ciklički, počevši od tipa N1 do N10 u svakoj od raspoloživih veličina. U

slučaju da je dobijeno poboljšanje, trenutno najbolje rešenje x_{best} se ažurira, a u modelu se dodaje ograničenje da vrednost funkcije cilja mora biti manje od onog koje odgovara x_{bes} . Promenljive se ponovo sortiraju na osnovu rastojanja u novom x_{best} rešenju i rešenju linearne relaksacije, a pretraživanje se nastavlja u sledećoj okolini iste veličine. Veličina okoline se nikada ne smanjuje za razliku od prve dve metode. Kada se istraže sve okoline u trenutnoj veličini, povećava se veličina okoline i odgovarajuće vremensko ograničenje i pretraga se nastavlja u okolini N1. Ukoliko preostane vremena u odnosu na T_{max} , a sve okoline su istražene u zadatim veličinama, CPLEX solver se poziva nad celim problemom P u preostalom vremenu (Davidović i Matijević, 2020). To znači da i VINS metodu možemo smatrati egzaktnom pod uslovom da ima dovoljno vremena i memorije računara.

8. REZULTATI PRIMENE MODELA OPTIMALNOG ODREĐIVANJA VELIČINE I RASPOREĐIVANJA FLOTE BRODOVA ZA TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA

8.1. Opis primera

Pomorski prevoz putnika se smatra veoma važnim oblikom transporta koji povezuje udaljena područja, naročito ona koja ne raspolažu adekvatnim drumskim saobraćajnicama. Kada je u pitanju ova vrsta prevoza u području Jadranskog mora, ona može biti lokalnog karaktera i regionalnog, tj. međunarodnog jer može povezati više država. Značajno je istaći da se ovaj deo Sredozemlja može pohvaliti velikim prometom putnika na brodovima za kružna putovanja morem koji beleže promet od pet miliona putnika godišnje, dok se manjim trajektnim brodovima preveze preko 17 miliona putnika (Risposte Turismo, 2017).

U studiji slučaja koja je urađena u ovom poglavlju, pored primera koji su testirani za regionalni prevoz putnika, numerički eksperimenti su takođe urađeni na primeru Bokotorskog zaliva u Crnoj Gori. Na osnovu uvida u pomorske aktivnosti u zalivu, smatra se da je trajektni prevoz putnika u fazi konkretnog razvoja, jer se potražnja za ovim prevozom povećava, prvenstveno kada je reč o dnevnim ekskurzijama izletničkim brodovima koje se organizuju za turiste u letnjem periodu koji posećuju mesta u zalivu. U prilog tome je i činjenica da se u putničkoj Luci Kotor opsluži preko pola miliona turista koji dolaze brodovima za kružna putovanja morem i kako je celokupan prostor orijentisan ka pomorskom turizmu, tako je odgovarajući trajektni prevoz u navedene svrhe u ponudi gostima zaliva. Dodatno, u ovom poglavlju je razmatrana mogućnost uvođenja redovnog trajektnog servisa za meštane na dnevnom nivou tokom cele godine kroz predloge za uključivanje u eksploataciju odgovarajuće flote brodova u zavisnosti od potražnje za prevozom.

Aktivnosti brodova za kružna putovanja morem u ovom delu Jadranskog mora su istraživane u prethodnom periodu. U radu Dragović i drugi (2014) predložen je scenario koji je usmeren ka mogućnosti produženja glavnog veza u Luci Kotor na kojem se opslužuju brodovi za kružna putovanja morem u cilju smanjenja boravka istih na sidrištu. Ideja za realizovano istraživanje je proistekla usled nedostatka dovoljne dužine glavnog veza za istovremeni prihvat i opsluživanje više brodova. Sa druge strane, Luka Kotor je zajedno sa Lukom Dubrovnik istraživana s aspekta ekološke održivosti, pri čemu se vršila procena nivoa emisije izduvnih gasova sa brodova i vrednost eksternalija prikazanih u formi troškova celokupnog sistema (Dragović i drugi, 2018). Područje Bokokotorskog zaliva je takođe razmatrano i u radu Škurić i Maraš (2016). U ovim istraživanjima je analizirana mogućnost uvođenja trajektnog prevoza putnika znajući da je područje poznato po povoljnim nautičkim uslovima koji omogućavaju nesmetano obavljanje pomorskog transporta u zalivu. Kada je u pitanju trajektni prevoz putnika, potrebno je naglasiti da za ovu vrstu servisa nisu potrebna velika finansijska ulaganja izuzev specijalnih konstrukcionih izvedbi (modula) pri ukrcaju i iskrcaju putnika. Ro-Ro servis koji je prisutan u zalivu tokom cele godine se odnosi na brodove katamarane koji spajaju najuže delove zaliva i omogućavaju prevoz vozila i putnika na liniji Kamenari-Lepetane i u suprotnom smeru. Trenutno se trajektni prevoz putnika u zalivu koristi samo za transport turista.

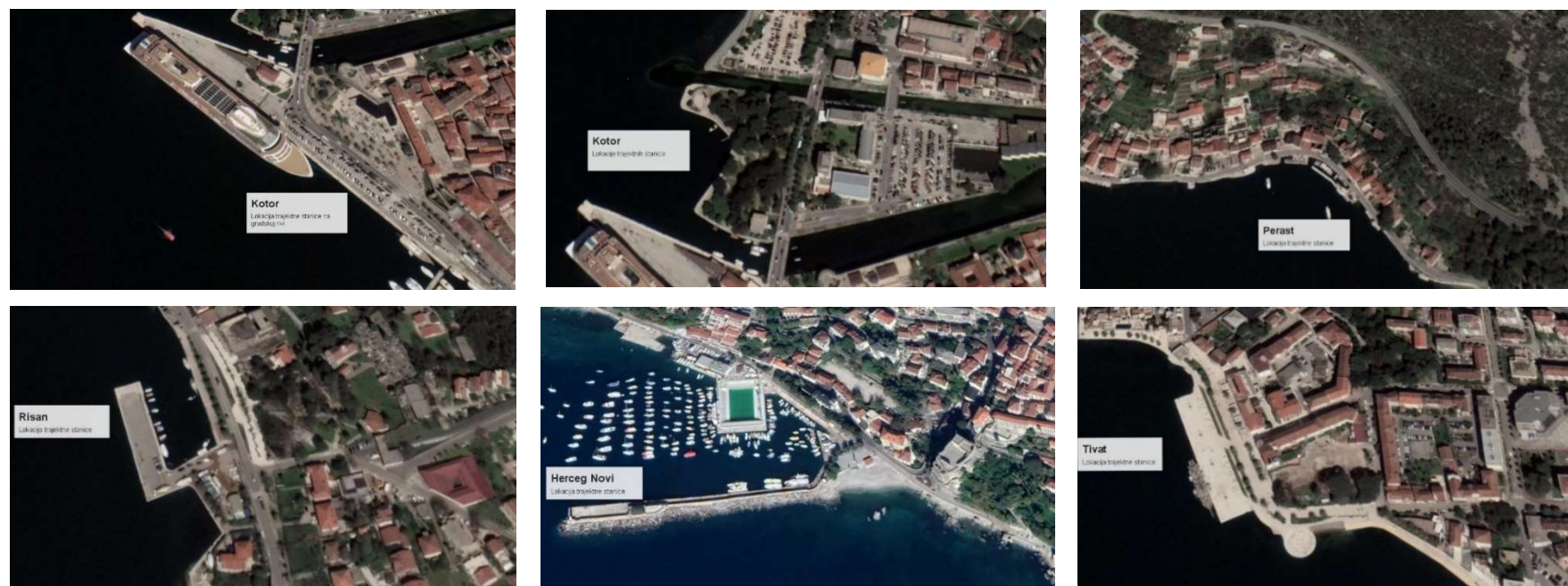
Prilikom formualcije modela koji bi na pravi način odgovorio zadatku ove disertacije, pošlo se od toga da se za dimenzionisanje optimalne veličine flote brodova za trajektni prevoz putnika uzima u obzir raspoloživost flote heterogenog karaktera sa predefinisanim potražnjom za prevozom u datom vremenskom periodu. Pored zadovoljenja zahteva putnika, model je proširen na način da modelira i mogućnost za kupovinu i unajmljivanje dodatne flote ukoliko su zahtevi za potražnjom prevoza povećani tako da postojeća flota nije u mogućnosti da iste zadovolji, a sve u cilju maksimizacije ukupne dobiti operatora. Na testiranim primerima su prikazani rezultati za različite strukture flote za trajektni prevoz putnika u zavisnosti od ponuđene strukture postojeće flote i mogućnosti nabavke i unajmljivanja dodatnih brodova sa tržišta.

8.2. Lokacije trajektnih stanica u zalivu

U razmatranom području Bokokotorskog zaliva, u okviru istraživanja je predloženo postojanje šest glavnih trajektnih stanica koje poseduju neophodnu infrastrukturu za vezivanje brodova u Kotoru (dve), Perastu, Risnu, Herceg Novom i Tivtu po jedna (slika 8.1). Veće rekonstruktivne aktivnosti na obali nisu poželjne, jer je područje pod zaštitom svetske baštine. U Kotoru je glavne trajektne stanice moguće locirati u samoj luci, na glavnom i manjem rečnom vezu koji se koriste za opsluživanje brodova za kružna putovanja morem i ostalih plovila. Međutim, da bi se izbegao zastoje na ovom delu operativne obale, moguće je formiranje glavne trajektne stanice u neposrednoj blizini luke, tačnije u području parka, gde postoji infrastruktura za privez manjih trajektnih brodova.

Što se tiče Perasta, postoje vezovi na nekoliko lokacija na kojima se bezbedno mogu opslužiti trajektni brodovi koji mogu saobraćati do obližnjih ostrva i time realizovati putovanja na kraćim rutama, a takođe se mogu koristiti i na dužim plovidbenim linijama ne samo u Risanskom, već i u celom Bokokotorskom zalivu. U Risnu se nalazi mala luka sa slabom frekvencijom pomorskog saobraćaja. U Herceg Novom se uplovljavanje i isplavlavanje trajektnih brodova može obavljati u gradskoj luci Škver, dok se u Tivtu takođe može iskoristiti vez u gradskoj luci koji je rekonstruisan u prethodnih par godina.

Do svih glavnih lokacija trajektnih stanica postoji adekvatan drumski prilaz i odgovarajući parkirališni prostori kao i obezbeđen dovoljan gaz za prihvatanje ovih brodova. Pored njih, brodovi za trajektni prevoz putnika mogu da pristanu i na drugim manjim, sporednim lokacijama koje se nalaze duž celog zaliva (Expeditio, Blue Coach (2013)). Kod testiranja modela uzeti su u obzir podaci o broju stanovnika koji gravitiraju trajektnim stanicama, kao i o turistima koji u jednom delu godine posećuju pojedine destinacije u zalivu. Predmet istraživanja u doktorskoj disertaciji ne podrazumeva analizu koja se odnosi na adaptaciju i eventualnu rekonstrukciju glavnih i sporednih trajektnih stanica.



Slika 8.1. Predložene lokacije glavnih trajektnih stanica u zalivu

8.3. Trajektne linije u zalivu

Glavne trajektne linije u Bokokotorskom zalivu povezuju šest vodećih lokacija trajektnih stanica i mesta koja su najviše posećena od strane turista tokom godine. Međutim, na ovim linijama se nalazi veliki broj manjih stajališta, tako da ukupno vreme realizacije jednog putovanja trajektnog broda zavisi od vremena putovanja i zadržavanja u trajektnim stanicama prilikom ukrcaja i iskrcaja putnika (slika 8.2). Na slici 8.2 su pored prikazanih glavnih trajektnih linija, pravougaonicima obeležene i lokacije sporednih trajektnih linija koje se mogu realizovati, a prilagođene su studiji Expeditio, Blue Coach (2013). Na slikama 8.3-8.6 su date pojedinačne lokacije glavnih i sporednih trajektnih linija u svakom zalivu ponaosob (Kotorskom, Risanskom, Hercegnovskom i Tivatskom).

U tabeli 8.1 su date dužine glavnih plovidbenih linija u zalivu u nautičkim miljama (nm) (Škurić i drugi, 2020a).

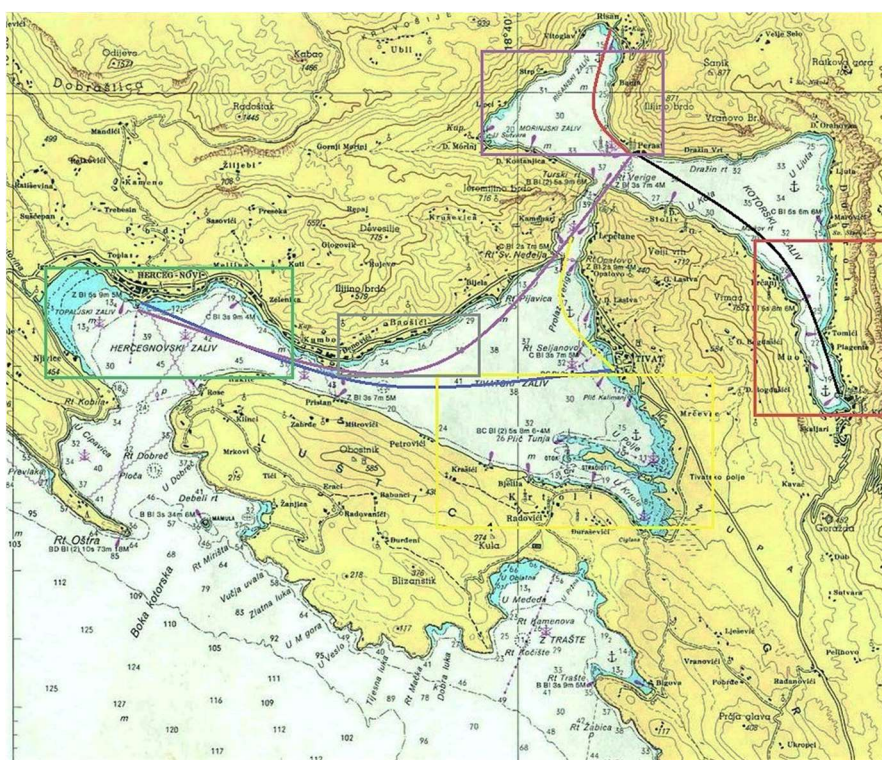
Tabela 8.1. Dužina glavnih trajektnih linija u zalivu

Linija u oba smera	Dužina (nm)
Perast-Kotor-Perast	≈ 11
Risan-Kotor-Risan	≈ 15
Tivat-Herceg Novi-Tivat	≈ 15
Tivat-Kotor-Tivat	≈ 19
Risan-Herceg Novi-Risan	≈ 22
Herceg Novi-Kotor-Herceg Novi	≈ 29

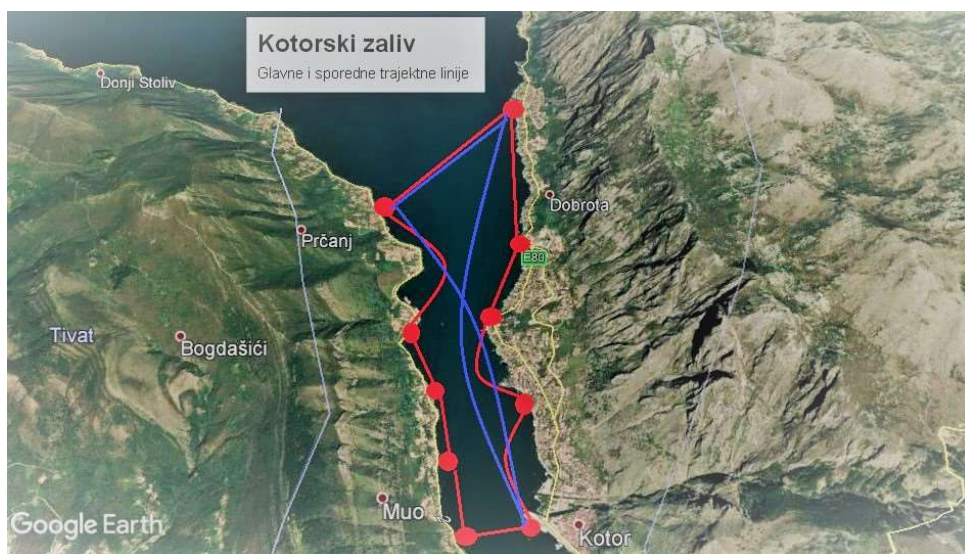
Da bi sve trajektne linije bile funkcionalne, postoje kriterijumi koji se moraju uzeti u obzir:

- zadovoljenje nautičkih uslova kao što su dubina akvatorijuma u kojem saobraćaju trajektni brodovi, dubina prilaznih kanala i zadovoljavajući gaz duž operativne obale;

- postojanje eventualnih restriktivnih područja plovidbe koji se moraju na vreme razmotriti, pri čemu je potrebno napraviti selekciju brodova koji mogu saobraćati u ovom akvatorijumu, ili zabraniti plovidbu u delovima koji ne zadovoljavaju osnovne karakteristike da omoguće nesmetano i bezbedno obavljanje trajektnog prevoza putnika;
- poštovanje raznih sezonskih ograničenja i otvaranja novih trajektnih linija za vreme povećane frekvencije saobraćaja koji su u skladu sa potražnjom za trajektnim prevozom;
- uvid u delove zaliva koji zahtevaju smanjenu (redukovanu) brzinu plovidbe kao i postojanje brzobrodskih linija;
- ostali kriterijumi i zahtevi koje trajektno linije moraju zadovoljiti da bi se uskladio pomorski saobraćaj sa drugim aktivnostima u zalivu.



Slika 8.2. Izgled trajektnih linija i glavnih i sporednih trajektnih stanica u Bokotorskom zalivu (prilagođeno od strane autora)



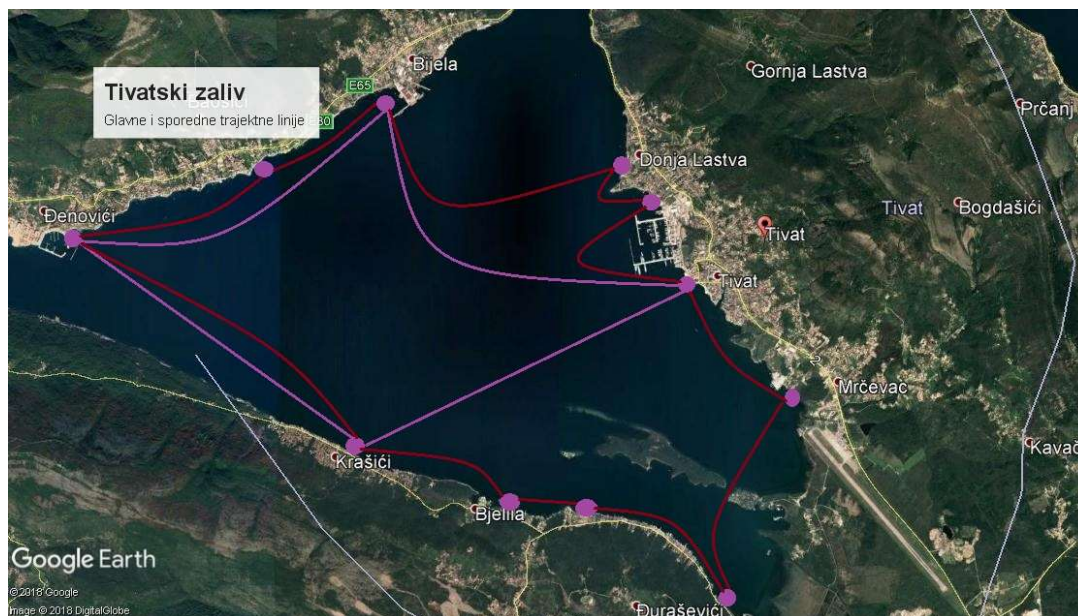
Slika 8.3. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Kotorskom zalivu (prilagođeno prema: Expeditio, Blue Coach (2013))



Slika 8.4. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Risanskom zalivu (prilagođeno prema: Expeditio, Blue Coach (2013))



Slika 8.5. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Hercegnovskom zalivu (prilagođeno prema: Expeditio, Blue Coach (2013))



Slika 8.6. Izgled glavnih i sporednih trajektnih linija i stanica u Tivatskom zalivu (prilagođeno prema: Expeditio, Blue Coach (2013))

Dodatne informacije kada je u pitanju modeliranje trajektnog prevoza putnika u Bokokotorskom zalivu podrazumevaju sledeće (Škurić i drugi, 2020a):

- Za sada je u velikoj meri razvijen trajektni prevoz turista koji u letnjim mesecima posećuju zaliv i koji zahvaljujući atraktivnosti područja biraju jednodnevne izlete brodovima koji su po svojoj svrsi kojoj služe dobili naziv *izletnički brodovi*.
- Kada je u pitanju postojanje redovne linijske plovidbe za meštane, ona je bila karakteristična za prošlost ovog podneblja kada nisu postojale drumske saobraćajnice. Kako je reč, u jednu ruku, o tradicionalnom obliku prevoza putnika, a imajući u vidu da je redovan trajektni prevoz putnika i vozila na točkovima aktivan na liniji Kamenari-Lepetane-Kamenari, u ovom poglavlju je analiza modela podrazumevala unapred determinisane potražnje za prevozom meštana, koji bi prioritetno koristili ovu vrstu prevoza u cilju odlaska na posao. Na taj način bi se smanjilo zagušenje na druskim saobraćajnicama, koje je naročito vidljivo u letnjim mesecima.
- Do sada je jedna studija izvodljivosti urađena 2013. godine, a ticala se ispitivanja mogućnosti uspostavljanja održivog, pomorskog, javnog transporta solarnim katamaranima u Bokokotorskom zalivu (Expeditio, Blue Coach, 2013). Cilj ove studije se odnosio na uspostavljanje linijskog servisa koji bi se koristio od strane meštana i turista. U tom kontekstu bi se lokalni drumski prevoz u određenoj meri zamenio kratkim linijama plovidbe na kojima bi brodovi trajektnog servisa razvozili putnike.
- Dodatne prednosti uvođenja linijskog trajektnog servisa za prevoz putnika se odnosi na povoljnosti koji se pojavljuju kao posledica ekonomičnije vožnje i ispunjenja ekoloških standarda i očuvanja životne sredine, slično kao što su u svojoj studiji prikazali Lupi i drugi (2017).
- Ukupno vreme putovanja brodovima trajektnog prevoza putnika se sastoji iz dva dela. Prvi deo podrazumeva efektivno vreme vožnje ovim brodovima, dok se drugi deo odnosi na vreme koje je neophodno za ukrcavanje i iskrcavanje putnika na stanicama.

- Kako je predviđeno u matematičkoj formulaciji problema, na osnovu modela se dobijaju rezultati koji ukazuju na stepen neiskorišćenosti resursa – sedišta raspoređene flote na plovidbenim linijama.
- Kod rešavanja raznih primera, u ovom poglavlju se pošlo od specificiranih trajektnih linija plovidbe, dok u nastavku numerički primeri postaju složeniji, tako da se uvođenje matheurističkih metoda smatra kao opravdano rešenje za dobijanje skoro optimalnog rešenja.

8.4. Numerički primeri kod kojih se dobija optimalno rešenje

Ovde su prikazani numerički primeri raspoložive flote brodova za trajektni prevoz putnika sa unapred definisanim brojem plovidbenih linija u zadatom vremenskom periodu. Maksimalan broj plovidbenih linija razmatran u ovom slučaju je dvanaest, od kojih se šest (obeležene sa: R1-R6) odnose na rute koje koriste meštani, dok se identične rute (obeležene sa: R7-R12) koriste i za prevoz turista. U analizi je odvojena potražnja meštana i turista za prevoz. Takođe, važno je napomenuti da je reč o povratnim putovanjima brodova za trajektni prevoz putnika koji su angažovani u realizaciji plovidbe. Razmatrane su sledeće plovidbene linije (Škurić i drugi, 2020a):

- R1/R7: Perast – Kotor – Perast (ukupna dužina oko 11 nm);
- R2/R8: Risan – Kotor – Risan (ukupna dužina oko 15 nm);
- R3/R9: Tivat – Herceg Novi – Tivat (ukupna dužina oko 15 nm);
- R4/R10: Tivat – Kotor – Tivat (ukupna dužina oko 19 nm);
- R5/R11: Risan – Herceg Novi – Risan (ukupna dužina oko 22 nm);
- R6/R12: Herceg Novi – Kotor – Herceg Novi (ukupna dužina oko 29 nm).

Ulazni podaci o potražnji za prevozom su predloženi na osnovu informacija koje su dobijene tokom obavljenih razgovora sa privatnim operatorima prevoza, a takođe i na osnovu veličine populacije stanovništva koja živi u području Bokokotorskog zaliva i broja turista koji posete ovaj region tokom godine, a naročito tokom sezone dolazaka

brodova za kružna putovanja morem u Luku Kotor (Luka Kotor AD, 2015). Podaci o raspoloživom budžetu, kao i cenama kupovine i unajmljivanja brodova su definisani na osnovu trenutnih ponuda na lokalnom i regionalnom pomorskom tržištu. Dodatno, podaci o prosečnom vremenu putovanja/plovidbe su dobijeni od strane lučkih pilota, dok su troškovi putovanja i operativni troškovi formirani na osnovu lučkih cena prevoza.

Rezultati za sve numeričke primere su dobijeni u komercijalnom CPLEX MIP egzaktnom solveru – verzija 12.6 sa uobičajenom konfiguracijom parametara, omogućavajući na taj način da CPLEX izabere najpouzdaniji metod za rešavanje, a u ovom slučaju je to bila metoda dinamičkog pretraživanja (CPLEX, 2015). Rešenja su dobijena na desktop računaru Intel Xeon E7 v3/Xeon E5 v3/Core i7, 2.40GHz, 31.4 GB RAM, keš memorija: 15 MB pod Linux 4.5.2. Heuristike su kodirane u programskom jeziku C++ i prevedene kompajlerom GCC 4.8.3. Ovde se testira pet primera koji se razlikuju po broju plovidbenih linija u vremenskom periodu od jedne godine. Što se tiče osnovnih vrednosti parametara, u tabeli 8.2 su prikazane osnovne informacije o modelu mešovitog celobrojnog programiranja za razmatrane primere.

Tabela 8.2. Osnovne informacije primera mešovitog celobrojnog programiranja (Škurić i drugi, 2020a)

Primer	Broj promenljivih			Ukupan broj ograničenja
	Binarne	Celobrojne	Opšte	
4Route333	78	288	81	766
6Route333	78	432	81	802
8Route433	78	672	81	850
10Route533	78	960	81	898
12Route633	78	1296	81	946

Rezultati primera su prikazani u tabeli 8.3. U kolonama tabele prikazani su podaci za: ostvarenu dobit – druga kolona, CPU vreme (vreme potrebno CPLEX solveru za rešavanje primera) – treća kolona, vreme potrebno da CPLEX solver pronađe najbolje

dopustivno rešenje (min_t) – četvrta kolona, broj neiskorišćenih sedišta na brodovima – peta kolona i njihov procenat u odnosu na ukupan broj raspoloživih sedišta – šesta kolona. Prvi primer pod nazivom 4Route333 podrazumeva ukupnu potražnju za prevozom od 92125 putnika, pri čemu se meštani i turisti prvoze na četiri plovidbene linije (R1, R2, R7 i R8).

Tabela 8.3. Rezultati primera dobijenih CPLEX solverom (Škurić i drugi, 2020a)

Primer	Dobit (\$)	CPU vreme (s)	min_t (s)	Neiskorišćena sedišta	% neiskorišć. sedišta
4Route333	429955.000	0.078	0.04	2250	2.38
6Route333	1060785.000	0.133	0.02	2619	1.47
8Route433	2159300.000	2.107	2.07	2977	1.13
10Route533	3525225.000	0.556	0.49	5856	1.86
12Route633	5463375.000	0.723	0.36	10852	2.89

Za realizaciju ovog prevoza na raspolaganju su po tri broda postojeće, kupljene i unajmljene flote, redom. Prevoznici kapaciteti brodova za sve tri vrste flote su: po dva broda mogu da prevoze 55 putnika dok je jedan kapaciteta od 150 putnika. Opremljen je budžet od 50000 \$ za razmatrani period od jedne godine, za kupovinu i unajmljivanje brodova, ukoliko je potrebno. Minimalni broj putovanja po periodima na svakoj liniji za prevoz meštana je 25. CPLEX 12.6 solver je izračunao ostvarenu dobit od 429955 \$/godini i da je zadata potražnja zadovoljena brodovima postojeće flote. Dakle, u ovom slučaju nije bilo potrebno kupiti niti unajmiti dodatnu flotu. Brodovi su napravili 1405 putovanja tokom zadatog vremenskog perioda, a 180 putovanja je realizovano trećim brodom prevoznog kapaciteta od 150 putnika, što predstavlja oko 13% ukupnog broja putovanja. Ovakva alokacija brodova po plovidbenim rutama je pokazala da se istim može transportovati 2250 više putnika od zadate potražnje, što podrazumeva 2.38% neiskorišćenih od ukupnog broja raspoloživih sedišta (Škurić i drugi, 2020a).

Ukupna potražnja prevoza putnika u drugom primeru (6Route333) je 174976. U ovom slučaju je razmatrano šest linija (R1-R3 i R7-R9) sa mogućnošću da se angažuju po tri broda postojeće, kupljene i unajmljene flote, istih prevoznih kapaciteta kao i u slučaju primera 4Route333. Svi ostali ulazni podaci su identični kao u prvom primeru. CPLEX solver je i ovaj primer rešio veoma brzo, što se može uočiti iz tabele 8.3. Ukupna ostvarena dobit je 1060785 \$/godini i takođe je angažovana samo postojeća flota. Potrebno je obaviti 2450 putovanja od čega je 451 putovanja realizovano brodom prevoznog kapaciteta od 150 putnika. Broj neiskorišćenih sedišta na brodovima je 2619, što predstavlja 1.47% neiskorišćenih sedišta od ukupnog broja mogućih prevezenih putnika (Škurić i drugi, 2020a).

CPLEX solver je našao optimalna rešenja i u ostalim slučajevima. Tokom testiranja primera koji su obuhvatili veći broj plovidbenih linija, potrebno je angažovati dodatne kapacitete flote, kako bi se zadovoljili transportni zahtevi i generisalo optimalno rešenje (dobit).

U slučaju primera potražnje za prevozom putnika na osam linija (R1-R4 i R7-R10), angažovana su četiri broda postojeće flote (tri broda su kapaciteta od po 55 putnika i jedan brod od 150 putnika) koja su bila dovoljna da se zadovolje zahtevi potražnje od 259933 putnika. Dobit operatora je iznosila 2159300 \$/godini, dok se 2977 putnika dodatno moglo prevoziti.

U slučaju deset linija, postojeća flota je sastavljena od četiri broda kapaciteta po 55 putnika i jednog broda kapaciteta 150 putnika. Za slučaj sa dvanaest ruta, angažovano je pet brodova sa prevoznim kapacitetom od 55 putnika i jedan brod sa 150 putnika. Ukupna potražnja za prevozom na deset plovidbenih linija je 308239 putnika. Dobit kao rezultat modeliranja iznosi 3525225 \$/godini i rezultat je pokazao je bilo moguće prevesti još 5856 putnika dodeljenim brodovima. Takođe, na osnovu podataka u tabeli 8.3, ostvarena dobit operatora na dvanaest plovidbenih linija je iznosila 5463375 \$/godini, dok je 10852 sedišta bilo više od zadate potražnje za prevozom koja je iznosila 365263 putnika (Škurić i drugi, 2020a).

8.5. Primer velike dimenzije

Kod testiranja raznih numeričkih primera naišlo se na one za koje egzaktni solver nije mogao da nađe optimalno rešenje. Jedan od takvih primera pod nazivom 12Route333 je prikazan u ovom odeljku. Ulazni podaci su sledeći: raspoloživi budžet za kupovinu i unajmljivanje trajektnog broda je 100000 \$/godini, dok je minimalan broj putovanja na liniji u svakom razmatranom periodu 25. Razmatran je zahtev za ukupnim brojem prevezenih putnika koji iznosi 244755. U tabelama 8.4 i 8.5 su takođe prikazani neki od dodatnih ulaznih podataka ovog primera. Raspoloživa flota za trajektni prevoz putnika ubraja tri broda: brod EFSA čiji je prevozni kapacitet 48 putnika; brod EFSB čiji je prevozni kapacitet, takođe, 48 putnika; EFSC brod sa maksimalnim prevoznim kapacitetom od 155 putnika. Brodovi koji se nalaze na tržištu prodaje su sledećih prevoznih kapaciteta: PFSA brod može prevoziti do 70 putnika; PFSB brod prevozi najviše 112 putnika i brod PFSC je prevoznog kapaciteta 48 putnika.

Tabela 8.4. Ulazni podaci za brodove EFSA, EFSB, EFSC i plovidbene linije za sedmi mesec (Škurić i drugi, 2020a)

Postojeća flota koju čine: EFSA, EFSB i EFSC						
Parametar	Linija 1	Linija 2	Linija 3	Linija 4	Linija 5	Linija 6
cv_r (\$)	3	3	5	5	6	7
D_{rh} (putnici)	2000	1051	1003	1252	1303	1303
Karakteristike brodova						
	EFSA		EFSB		EFSC	
q_k (putnici)	48		48		155	
g_{kh} (h)	340		310		310	
lu_{kh} (\$)	20		30		45	
cp (\$)	$cp_l = 15$					

Takođe, na tržištu unajmljenih brodova, nalaze se sledeći raspoloživi trajekti:

- CFSA brod čiji je maksimalan prevozni kapacitet 70 putnika;
- brod CFSE sa maksimalnih 138 putnika koji se mogu prevesti u jednom putovanju i
- CFSC brod prevoznog kapaciteta od 48 putnika.

Važno je napomenuti da je testiranje primera sa po dva broda iz sve tri kategorije dalo nedopustivo rešenje, pa je iz tog razloga maksimalan broj brodova koji bi bili angažovani na razmatranim plovidbenim linijama povećan na 3 u svakoj kategoriji.

Tabela 8.5. Ulazni podaci za brodove PFSA, PFSB, PFSC, CFSA, CFSE i CFSC i plovidbene linije za sedmi mesec (Škurić i drugi, 2020a)

Parametar	Kupljena flota koju čine: PFSA, PFSB i PFSC			Unajmljena flota koju čine: CFSA, CFSE i CFSC		
	Linija 7	Linija 8	Linija 9	Linija 10	Linija 11	Linija 12
cv_r (\$)	/					
D_{rh} (putnici)	2204	2204	2205	1903	1957	1925
	Karakteristike brodova					
	PFSA	PFSB	PFSC	CFSA	CFSE	CFSC
q_k (putnici)	70	112	48	70	138	48
g_{kh} (h)	150	120	120	160	160	160
lu_{kh} (\$)	25	35	20	30	40	20
cp (\$)	$cp_t = 25$					

U tabeli 8.6 su prikazane karakteristike modela mešovito celobrojnog programiranja za razmatrani primer 12Route333.

Tabela 8.6. Karakteristike modela mešovito celobrojnog programiranja za primer 12Route333 (Škurić i drugi, 2020a)

Broj promenljivih			Ukupan broj ograničenja
Binarne	Celobrojne	Opšte	
78	864	81	910

U ovom numeričkom primeru, CPLEX egzaktni solver je upotrebljen za rešavanje u slučaju vremenskog perioda od jedne godine (dvanaestomesečni vremenski interval). Rezultati su dati u tabeli 8.7 i Prilogu I (tabele I.1-12).

Tabela 8.7. Rezultati dobijeni CPLEX-om za jednu godinu (Škurić i drugi, 2020a)

Vrem. period	Dobit (\$)	Odstupanje (%)	CPU vreme (s)	min_t	Neiskorišćena sedišta	% neisko. sedišta
Jedna godina	3025325.000	0.14	75138.131*	74209.93	8961	3.53

*Napomena: CPU vreme je ograničeno malo manje od vremena koje je bilo potrebno da CPLEX solver vrati status nedostatka memorije za izvršenje primera.

U tabeli su prikazani sledeći podaci: prva kolona označava razmatrani vremenski interval; u drugoj koloni je rezultat modeliranja, tj. vrednost dobiti operatora prevoza; u trećoj koloni se nalazi vrednost odstupanja između konačnog rešenja koje je dobijeno u CPLEX solveru i gornje granice primenjene heurističke metode koja je integrisana u CPLEX solver (pozitivna vrednost odstupanja označava da CPLEX solver nije mogao da generiše optimalno rešenje zbog nedostatka memorije računara); CPU vreme je vreme potrebno da CPLEX solver obavi izvršavanje; u petoj koloni je vreme potrebno da CPLEX nađe najbolje dopustivo rešenje, min_t . Važno je napomenuti da je min_t uglavnom značajno manje od ukupnog vremena rada CPLEX solvera jer, čak i kada se pronade optimalno rešenje, potrebno je neko vreme da se dokaže njegova optimalnost, tj. da u prostoru rešenja ne postoji kvalitetnije rešenje od trenutno najboljeg pronađenog.

Broj neiskorišćenih sedišta na angažovanim brodovima kao i odgovarajući procenat u odnosu na ukupni broj raspoloživih sedišta su prikazani u kolonama šest i sedam.

Kako CPLEX nije uspeo da pronađe optimalno rešenje usled nedostatka memorije, definisano je CPU vreme realizacije modeliranja koje je postavljeno da bude malo niže od vremena kada CPLEX solver izvesti nedostatak memorije računara (što je u ovom primeru nešto više od 20 sati). Iako je vrednost odstupanja (eng. *gap*) mala, da bismo ga smanjili do 0, potreban je računar sa boljom hardverskom konfiguracijom. U ovoj situaciji, pošto CPLEX solver nije uspeo da generiše optimalno rešenje, CPU vreme ustvari predstavlja vremensko ograničenje modeliranja, dok \min_t predstavlja trenutak kada se odgovarajuće najbolje dopustivo rešenje pojavilo prvi put. U ovom slučaju je angažovana postojeća flota i jedan brod iz unajmljene flote - CFSA.

8.6. Analiza osetljivosti

Kao što se može uočiti, testirajući primer koji se odnosi na trajektni transport tokom jedne godine je bio preveliki izazov za CPLEX solver koji nije uspeo da generiše optimalno rešenje zbog nedostatka memorije računara. Urađeni su dodatni primeri sa različitim ulaznim podacima, kao što je i menjana struktura flote u smislu povećanja broja raspoloživih brodova postojeće flote da ih bude četiri, šest, deset i dvanaest.

Takođe, urađen je primer sa smanjenim brojem brodova iz kategorije kupljene i unajmljene flote, međutim CPLEX solver je i u ovim primerima prijavio nedostatak memorije računara. Čak ni smanjenje potražnje za prevozom putnika ravnomerno do 50%, nije pomoglo CPLEX solveru u dobijanju optimalnog rešenja. Sa druge strane, menjajući vrednost parametra g_{kh} , povećavajući ga za 10%, 20%, 30%, 40% i 50%, optimalno rešenje za dobit operatora je dobijena u poslednjem slučaju, prilikom povećanja vrednosti ovog parametra za 50%. Rezultati novog primera (12Route333-1) su dati u tabeli 8.8. CPLEX solver je generisao optimalno rešenje kojem odgovara vrednost dobiti od 3628200 \$/godini. Pored postojeće flote unajmljen je brod prevoznog kapaciteta do 70 putnika. Trajektni brodovi su napravili 4389 putovanja, i to 1726, 1604, 405 i 654

putovanja da bi se zadovoljila potražnja za prevozom putnika. Evidentno je da je CPLEX solver utrošio dosta vremena da dobije optimalno rešenje, ukupno je radio skoro šest sati (2.3 sata da generiše najbolje dopustivo rešenje, i jos skoro 3.7 sati da dokaže njegovu optimalnost). Kao i u originalnom primeru, brodovi su mogli prevesti 9252 putnika više nego što je bilo zadato.

Tabela 8.8. Optimalno rešenje dobijeno CPLEX-om za primer 12Route333-1 (Škurić i drugi, 2020a)

Primer	Dobit (\$)	CPU vreme (s)	min_t	Neiskorišćena sedišta	% neisko. sedišta
12Route333-1	3628200.000	21410.319	8342.48	9252	3.64

Iako je povećanje maksimalnog raspoloživog vremena za prevoz putnika od 50% dovelo do toga da se dobije optimalno rešenje, ovaj slučaj ipak ne oslikava stvarnu situaciju na primeru trajektnog prevoza putnika u zalivu, naročito kada je u pitanju vanezonski deo godine. Zbog toga, ovde je napravljena dekompozicija originalnog primera 12Route333 i jedna godina je podeljena na vremenske podhorizonte – interval (tabela 8.9).

Tabela 8.9. Osnovne informacije o modelu mešovito celobrojnog programiranja za različite scenarije (Škurić i drugi, 2020a)

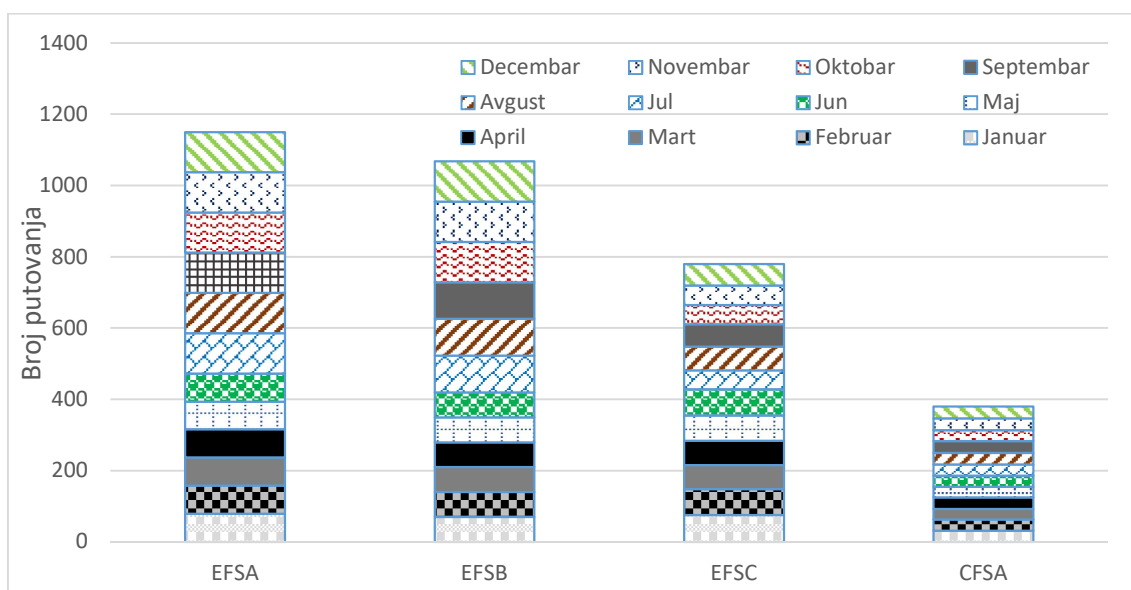
	Broj promenljivih			Ukupan broj ograničenja
	Binarne	Celobrojne	Opšte	
Prvi scenario	12	72	15	85
Drugi scenario	18	144	21	160
Treći scenario	24	216	27	235
Četvrti scenario	30	288	33	310
Peti scenario	42	432	45	460

Ovo je urađeno kroz pet scenarija: prvi podrazumeva dvanaest jednomesečnih perioda, drugi se odnosi na šest dvomesečnih perioda, treći scenario se sastoji od četiri tromesečna perioda, četvrti od tri četvromesečna perioda i peti scenario se odnosi na dva šestomesečna perioda iste godine. Prvi scenario obuhvata 12 malih primera, tj. 12 mesečnih intervala koje je CPLEX solver uspešno rešio. U tabeli 8.10 su prikazani izlazni rezultati za dobit operatora prevoza kao i ostali podaci o neiskorišćenosti sedišta na brodovima (detalji o dodeljenim brodovima plovidbenim linijama su dati u Prilogu I, tabele I.13-24). Struktura tabele je identična tabeli 8.8. Iako su svi primeri prvog scenaria optimalno rešeni za manje od jednog minuta (53.409 s), ukupna dobit je niža nego u ostalim slučajevima, dok je broj neiskorišćenih sedišta porastao.

Tabela 8.10. Rezultati dobijeni CPLEX-om za prvi scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	Dobit (\$)	Odstu panje (%)	CPU vreme (s)	min_t (s)	Neiskoriš. sedišta	% neisko. sedišta
Januar	226552.000	0.00	0.653	0.64	661	3.12
Februar	226388.000	0.00	5.631	4.59	413	2.02
Mart	190614.000	0.00	0.424	0.41	1530	7.73
April	184653.000	0.00	0.392	0.37	1693	8.49
Maj	207917.000	0.00	1.918	1.17	991	4.90
Jun	222543.000	0.00	3.010	1.12	762	3.66
Jul	277626.000	0.00	1.222	1.22	513	2.46
Avgust	335952.000	0.00	4.665	1.51	472	2.07
Septembar	330022.000	0.00	2.218	1.13	529	2.36
Otobar	292647.000	0.00	3.590	3.59	504	2.35
Novembar	271868.000	0.00	26.412	17.08	741	3.42
Decembar	244796.000	0.00	3.274	1.22	400	1.78
Ukupno	3011578.000	0.00	53.409	34.05	9209	3.63

Ukupna godišnja dobit u razmatranom prvom scenariju je 3011578 \$/godini, što je znatno niže nego dobit koja je dobijena posmatrajući scenario koji obuhvata jednu godinu i za koji su rezultati dati u tabeli 8.7 (3025325 \$/godini). Takođe, za zadovoljenje potražnje za prevozom, potrebno je unajmiti CFSA brod pored brodova iz postojeće flote (EFSA, EFSB i EFSC). Ukupan broj ostvarenih putovanja je 3378 i taj broj je niži od originalnog primera. Raspodela putovanja po brodovima za svaki mesec ponaosob je data na slici 8.7.



Slika 8.7. Raspodela realizovanih putovanja svakog broda u posmatranom periodu za prvi scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Na slici se uočava da se brodovi postojeće flote u velikoj meri koriste, tako da je EFSA brod napravio 1150 putovanja, EFSB brod 1068 putovanja, dok je EFSC brod realizovao 780 putovanja. CFSA unajmljeni brod je napravio 380 putovanja. Prema prevoznom kapacitetu brodova koji je multicipliran brojem putovanja, na palubama je bilo mesta za prevoz još 9209 putnika. Dobijeni rezultati ovog scenarija su lošijeg kvaliteta za razliku od slučaja kada se posmatra cela jedna godina, u smislu ostvarene dobiti i broja neiskorišćenih sedišta. Iz tog razloga su detaljno analizirani ostali scenariji

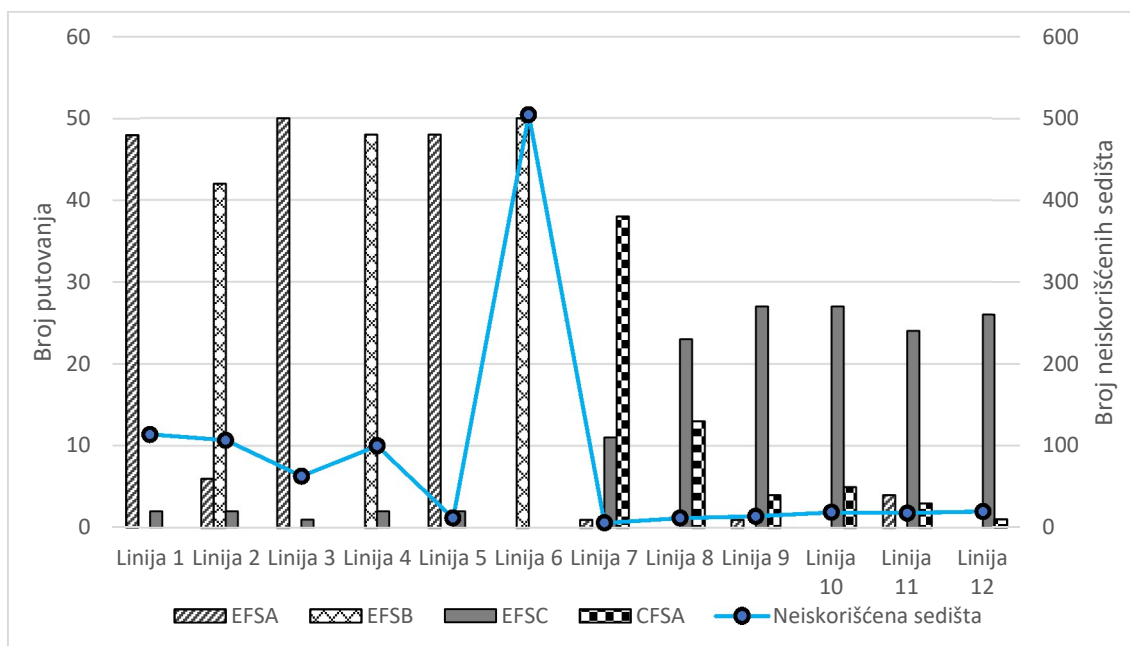
koji bi generisali moguće opcije za bolje izlazne rezultate. Na slikama 8.8-8.13 prikazani su rezultati koji odgovaraju broju putovanja i broju neiskorišćenih sedišta brodova za drugi scenario.

Rezultati za dobit i ostale izlazne podatke su prikazani u tabelama 8.11-8.14 i u Prilogu I (tabele I.25-39). U slučaju petog scenarija, vremenski interval od jedne godine je podeljen u dva šestomesečna perioda. Iz tabele 8.13 se uočava da je ukupna dobit 3024390 \$/godini. U ovom primeru je takođe CFSA brod unajmljen pored postojeće flote da realizuje prevoz putnika.

Ukupan broj ostvarenih putovanja je 3379, tj. EFSA brod je realizovao 1149 putovanja, EFSB brod 1068, dok je brod EFSC obavio 776 putovanja u posmatranim šestomesečnim periodima. Brod CFSA je 386 puta transportovao putnike.

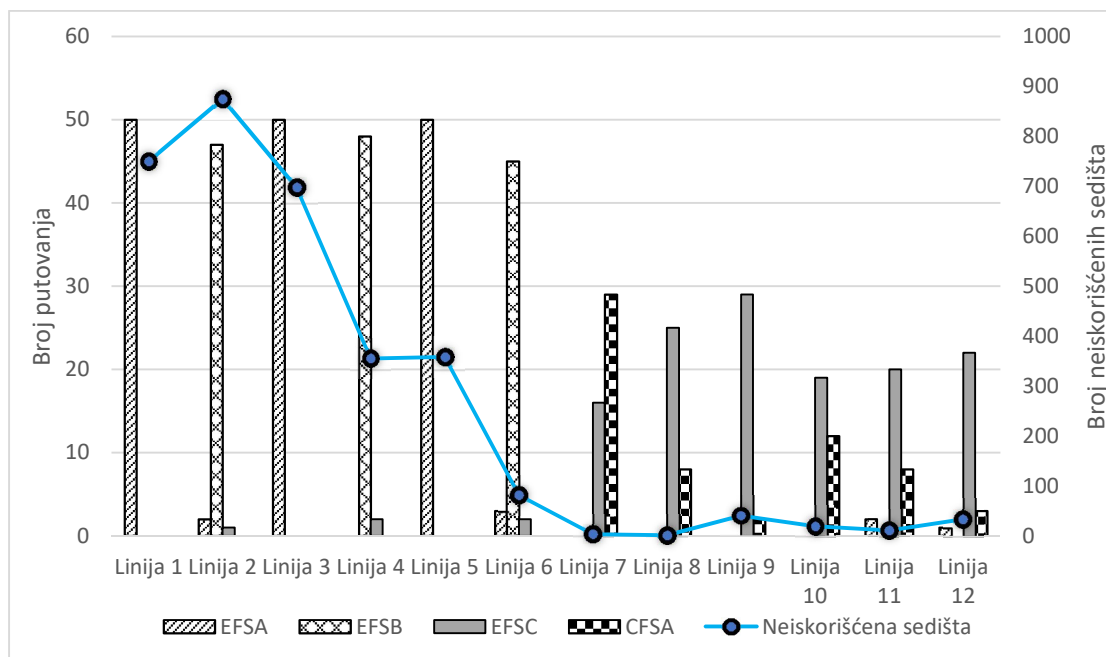
Tabela 8.11. Rezultati dobijeni CPLEX-om za drugi scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	Dobit (\$)	Odstupanje (%)	CPU vreme (s)	min_t (s)	Neiskoriš. sedišta	% neisko. sedišta
Januar-Februar	453865.000	0.00	12.262	9.08	989	2.38
Mart-April	375602.000	0.00	8.591	8.49	3223	8.11
Maj-Jun	431880.000	0.00	11.105	1.38	1738	4.24
Jul-Avgust	615475.000	0.00	675.248	67.72	985	2.26
Septembar-Oktobar	624280.000	0.00	163.067	47.00	1103	2.51
Novembar-Decembar	520550.000	0.00	8562.752	3488.30	964	2.20
Ukupno	3021652.000	0.00	9433.025	3621.97	9002	3.55

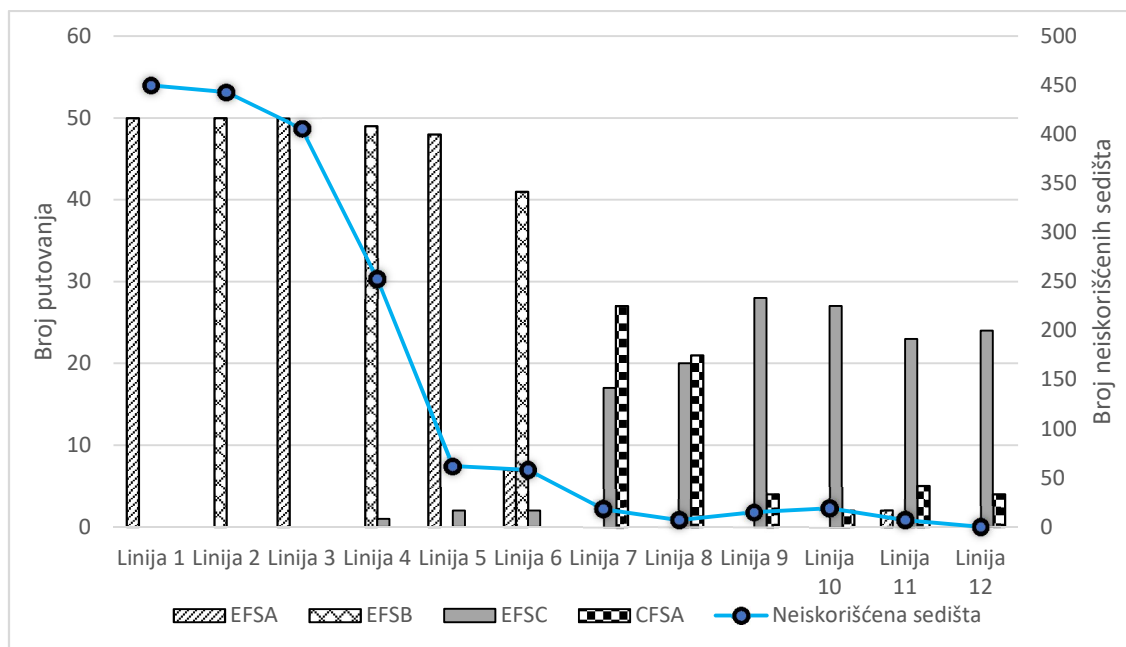


Slika 8.8. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period januar-februar

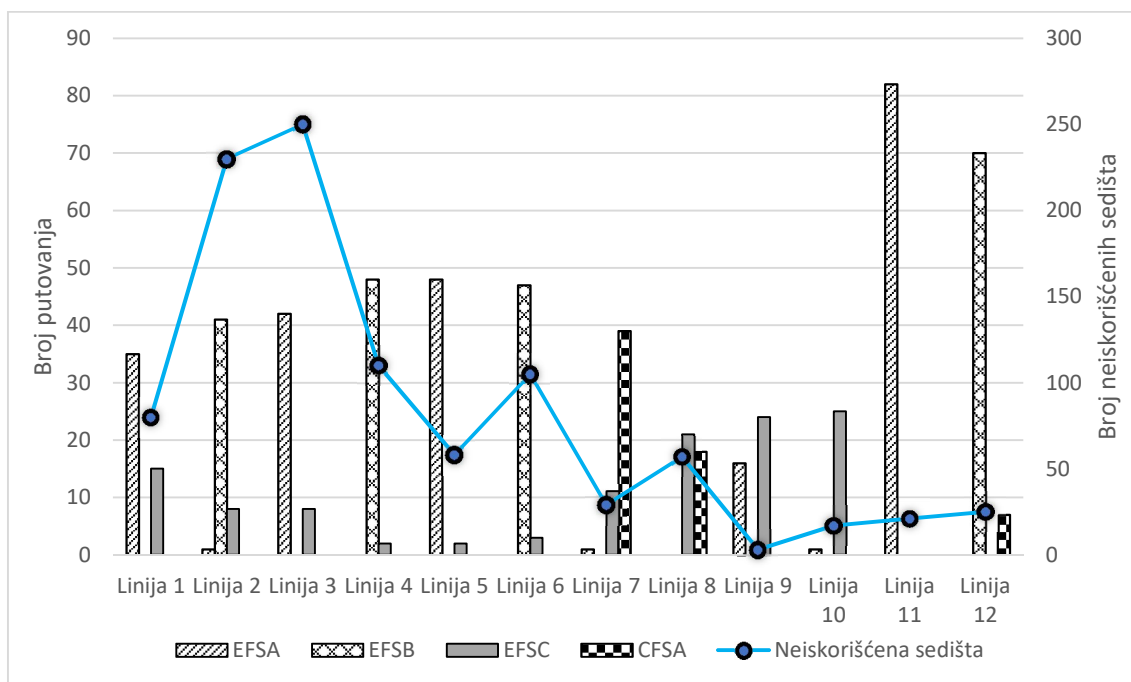
Na slici 8.14 je prikazana raspodela putovanja po podhorizontima za svaki angažovani brod. Na osnovu raspoloživog kapaciteta angažovanih brodova, postojalo je još 8961 mesta za putnike koji nisu bili prevezeni. Važno je istaći da CPLEX solver nije uspeo da generiše optimalno rešenje za drugi podhorizont zbog nedostatka memorije računara. Ista situacija je bila kod trećeg i četvrtog scenarija gde za poslednji podhorizont nije dobijeno optimalno rešenje. Prema tome, da bi bilo ispisano najbolje nađeno dopustivo rešenje, CPU vreme je bilo ograničeno da bude malo kraće od momenta kada CPLEX solver izveštava da je došlo do nedostatka memorije računara. Ukupan broj putovanja u drugom scenariju koje je realizovao brod EFSA je 1151, drugi brod EFSB je obavio 1068 putovanja, treći brod ESFC je 777 puta bio angažovan da prevozi putnike, dok je unajmljeni brod CFSA 383 puta prevezio turiste. Prema podacima iz tabele 8.11, broj neiskorišćenih sedišta je iznosilo 9002, po periodima: januar-februar ukupno 989 sedišta; 3223 sedišta je bilo višak u martu-aprilu; 1738 sedišta je bilo neiskorišćeno u maju-junu; tokom perioda jul-avgust 985 je bilo neiskorišćenih sedišta; 1103 neiskorišćenih sedišta u septembru-oktobru i 964 sedišta u novembru-decembru.



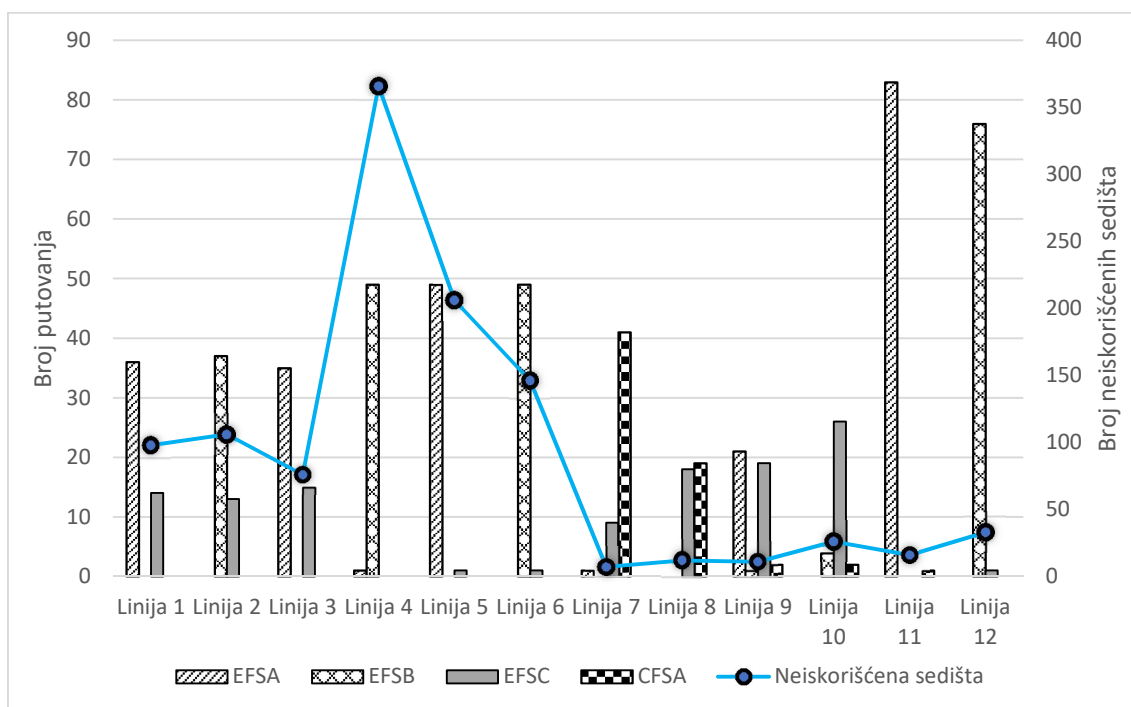
Slika 8.9. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period mart-april



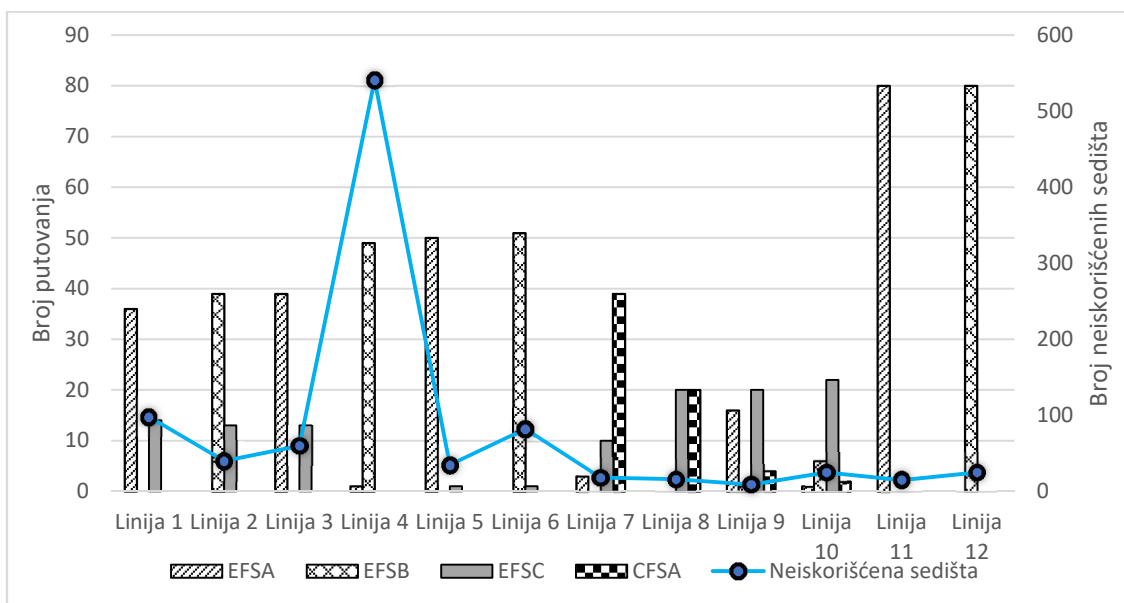
Slika 8.10. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period maj-jun



Slika 8.11. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period jul-avgust



Slika 8.12. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za period septembar-oktobar



Slika 8.13. Broj putovanja i neiskorišćenih sedišta brodova za novembar-decembar

Tabela 8.12. Rezultati dobijeni CPLEX-om za treći scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	Dobit (\$)	Odstupanje (%)	CPU vreme (s)	min_t (s)	Neiskoriš. sedišta	% neisko. sedišta
Januar-Mart	644955.000	0.00	157.336	10.78	2589	4.21
April-Jun	616835.000	0.00	271.679	2.70	3431	5.63
Jul-Septembar	946555.000	0.00	4599.493	980.76	1514	2.29
Oktobar-December	814075.000	0.10	7873.930*	7221.22	1442	2.21
Ukupno	3022420.000	0.100	12902.438	8215.46	8976	3.54

*Napomena: CPU vreme je malo manje od vremena koje je bilo potrebno CPLEX solver da izvesti status nedostatka memorije za izvršenje primera.

Rezultati koji se odnose na broj putovanja i broj neiskorišćenih sedišta za treći scenario su dati u Prilogu I, tabele I.40-43.

Tabela 8.13. Rezultati dobijeni CPLEX-om za četvrti scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	Dobit (\$)	Odstupanje (%)	CPU vreme (s)	min_t (s)	Neiskoriš. sedišta	% neisko. sedišta
Januar-April	830035.000	0.00	458.410	6.56	4212	5.18
Maj-Avgust	1048815.000	0.00	10575.907	127.18	2708	3.20
Septembar- Decembar	1145590.000	0.14	16920.158*	15291.38	2067	2.35
Ukupno	3024440.000	0.140	27954.475	15425.12	8987	3.54

*Napomena: CPU vreme je malo manje od vremena koje je bilo potrebno CPLEX solver da izvesti status nedostatka memorije za izvršenje primera.

Detaljni rezultati za broj putovanja i broj neiskorišćenih sedišta četvrtog scenarija su dati u Prilogu I, tabele I.44-46.

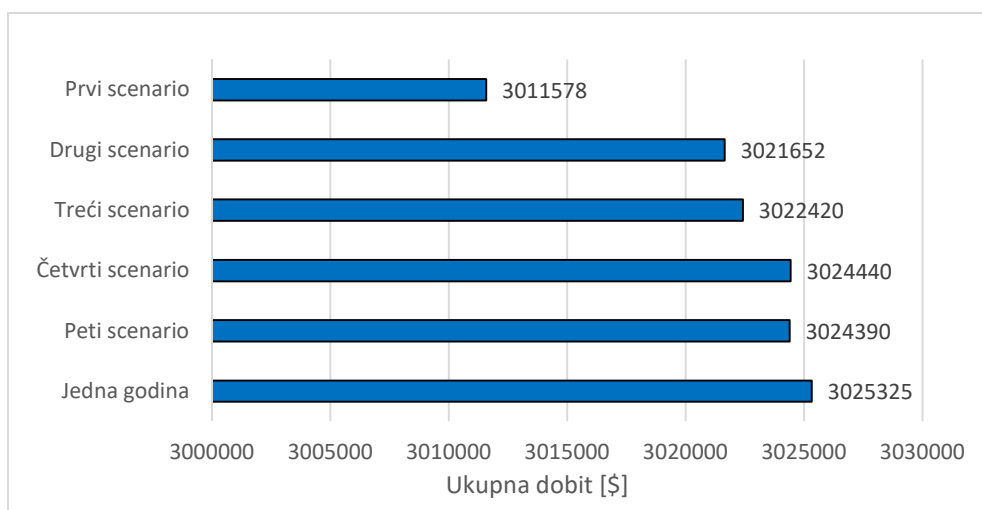
Tabela 8.14. Rezultati dobijeni CPLEX-om za peti scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	Dobit (\$)	Odstupanje (%)	CPU vreme (s)	min_t (s)	Neiskoriš. sedišta	% neisko. sedišta
Januar-Jun	1262535.000	0.00	9556.687	8531.61	6005	4.91
Jul- Decembar	1761855.000	0.12	91966.129*	90178.03	2956	2.25
Ukupno	3024390.000	0.120	101522.816	98709.64	8961	3.53

*Napomena: CPU vreme je malo manje od vremena koje je bilo potrebno CPLEX solver da izvesti status nedostatka memorije za izvršenje primera.



Slika 8.14. Raspodela realizovanih putovanja svakog broda za razmatrane periode u petom scenariju (Škurić i drugi, 2020a)



Slika 8.15. Ukupna dobit operatora trajektnog prevoza za svaki scenario i jednu godinu (Škurić i drugi, 2020a)

Eksperimentalna analiza je pokazala da CPLEX solver ne može da pronade optimalno rešenje za veće podhorizonte koji podrazumevanju tri, četiri i šest meseci, zbog nedostatka memorije računara. Sa druge strane, razmatrajući ove vremenske intervale i

sumirajući dobijene rezultate za ukupnu dobit, evidentno je da je ova vrednost dobiti veća nego u situaciji kada su posmatrani manji podhorizonti. To je vidljivo na slici 8.15. Jedini izuzetak posmatranih slučajeva je između četvrtog i petog scenarija, što je verovatno posledica toga da je CPLEX solver saopštio da je računar ostao bez memorije ranije nego u četvrtom scenariju.

8.7. Rezultati primera dobijeni primenom matheuristika

Ovde su prikazani rezultati dobijeni primenom tri matheuristike (VNB, VNDS 0-1 MIP i VINS) na ranije opisane primere i upoređivani su sa rezultatima dobiti operatora prevoza koje je generisao CPLEX egzaktni solver. U cilju obezbeđenja ravnopravnog poređenja navedenih metoda, zadata su identična vremenska ograničenja kao i u slučaju CPLEX solvera. Ukupna ograničenja rada solvera su, redom: 100 s, 1000 s, 10000 s, 15000 s i 86400 s, za prvi, drugi, treći, četvrti i peti scenario. Za scenario jedne godine je takođe zadato vremensko ograničenje 86400 s. Ova ograničenja su određena nakon više obavljenih eksperimenata, kako bi se dobili najbolji konačni rezultati. Neke od upoređivanih matheuristika imaju dodatne parametre i njihove vrednosti su prilagođavane u cilju dobijanja najboljih mogućih rezultata (Škurić i drugi, 2020a). Najbolje kombinacije parametara su prikazane u nastavku ove sekcije. Za VNB metodu, minimalna veličina okoline je $k_{min} = 1$; maksimalna veličina okoline je $k_{max} = 20$; i korak za prelazak u sledeću okolinu je $k_{step} = 1$ za svaki scenario. Zatim, vreme koje je dato da CPLEX solver reši podproblem (t_{sub}) je određeno da bude, redom: 10 s, 200 s, 500 s, 500 s, 4300 s, 13000 s, za prvi, drugi, treći, četvrti, peti scenario i jednu godinu. U odnosu na ukupno vreme izvršavanja, dodatni parametar za VNDS 0-1 MIP metodu je vreme za rešavanje podproblema i ono je određeno da bude, redom: 10 s, 200 (800) s, 1000 s, 1000 s, 20000 s, 13000 s, za prvi, drugi, treći, četvrti, peti scenario i jednu godinu. Poslednji period drugog scenarija je bio veoma kompleksan za rešavanje, tako da je u ovom slučaju povećano vreme podproblema i iznosilo je 800 s (prikazano u prethodnoj rečenici u zagradi).

Tabela 8.15. Vrednost vremena t_{sub_1} , t_{sub_2} i t_{sub_3} VINS metode u svim scenarijima (Škurić i drugi, 2020a)

	t_{sub_1} [s]	t_{sub_2} [s]	t_{sub_3} [s]
Prvi scenario	3	6	10
Drugi scenario	30	60	100
Treći scenario	200	400	1000
Četvrti scenario	300	600	1500
Peti scenario	1000	2000	4320
Jedna godina	3250	6500	13000

Parametri za VINS metodu su broj veličina okoline (u ovom primeru ih je 3), trenutna veličina okolina (η_i , $i = 1,2,3$ sa vrednostima redom 40, 60 i 80) i vremenima (t_{sub_i} , $i = 1,2,3$) dozvoljenim da CPLEX reši podprobleme za svaku veličinu okoline (tabela 8.15). Preciznije, t_{sub_1} predstavlja CPU vreme za rešavanje podproblema sa 40% otpuštenih promenljivih; t_{sub_2} predstavlja CPU vreme za rešavanje podproblema sa 60% otpuštenih binarnih promenljivih i t_{sub_3} predstavlja CPU vreme za rešavanje podproblema sa 80% otpuštenih promenljivih. Vrednosti za t_{sub_i} su prikazane u tabeli 8.15. CPLEX solver je rešavao zadate primere sa podrazumevanim vrednostima parametara, tačnije, prepušteno je CPLEX solveru da odredi vrednosti parametara pre procesuiranja svakog pojedinačnog primera (Škurić i drugi, 2020a).

Poređenje vrednosti funkcije cilja (dobiti operatora prevoza) i minimalnog CPU vremena (min_t) koje je potrebno da bi se dostigle konačne vrednosti dobiti za sve primere i sve scenarije su prikazani u tabelama 8.16-8.21. Struktura tabela je sledeća. Testirani periodi su prikazani u prvoj koloni. Ostali deo tabela je podeljen na četiri dela (CPLEX, VNB, VNDS 0-1 MIP i VINS) i svaki se sastoji iz dve kolone (u njima su date vrednosti dobiti i odgovarajuća vremena min_t). Najbolje dobijene vrednosti su podebljane u tabelama za odgovarajuće metode, tj. one koje odgovaraju najvećoj vrednosti dobiti i najmanjem CPU vremenu (Škurić i drugi, 2020a).

Tabela 8.16. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za prvi scenario (Škurić I drugi, 2020a)

Period	CPLEX		VNB		VNDS 0-1 MIP		VINS	
	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$
Januar	226552.000	0.64	226552.000	1.72	226552.000	1.227	226552.000	1.055
Februar	226388.000	4.59	226388.000	8.46	226388.000	1.268	226388.000	2.729
Mart	190614.000	0.41	190614.000	1.21	190614.000	0.700	190614.000	0.537
April	184653.000	0.37	184653.000	0.33	184653.000	0.194	184653.000	0.298
Maj	207917.000	1.17	207917.000	1.15	207917.000	0.959	207917.000	1.181
Jun	222543.000	1.12	222543.000	3.94	222543.000	1.727	222543.000	3.092
Jul	277626.000	1.22	277626.000	1.43	277626.000	6.163	277626.000	0.962
Avgust	335952.000	1.51	335952.000	6.35	335952.000	1.497	335952.000	3.007
Septembar	330022.000	1.13	330022.000	3.05	330022.000	1.376	330022.000	3.057
Oktoibar	292647.000	3.59	292647.000	10.02	292647.000	14.113	292647.000	8.071
Novembar	271868.000	17.08	271868.000	10.02	271868.000	40.514	271868.000	3.007
Decembar	244796.000	1.22	244796.000	10.02	244796.000	1.427	244796.000	2.046
Ukupno	3011578.000	34.05	3011578.000	57.700	3011578.000	71.165	3011578.000	29.042

Tabela 8.17. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za drugi scenario (Škurić I drugi, 2020a)

Period	CPLEX		VNB		VNDS 0-1 MIP		VINS	
	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$
Januar- Februar	453865.000	9.08	453865.000	690.40	453865.000	15.359	453865.000	16.146
Mart-April	375602.000	8.49	375602.000	35.44	375602.000	11.577	375602.000	10.322
Maj-Jun	431880.000	1.38	431880.000	32.73	431880.000	38.443	431880.000	26.917
Jul-Avgust	615475.000	67.72	615475.000	200.02	615475.000	200.022	615475.000	30.273
Septembar- Oktobar	624280.000	47.00	624280.000	130.53	624280.000	200.022	624280.000	60.237
Novembar- Decembar	520325.000	999.97	520550.000	200.02	520275.000	35.045	520550.000	480.859
Ukupno	3021427.000	1133.64	3021652.000	1289.140	3021377.000	500.468	3021652.000	624.754

Kada je u pitanju prvi scenario (tabela 8.16), sve matheuristike su dobile ista rešenja dobiti operatora prevoza kao i CPLEX solver, tj. optimalne vrednosti. Međutim, VINS metoda je zahtevala manje CPU vremena nego ostale, dok je VNDS 0-1 MIP metoda zahtevala najviše vremena u proseku, iako je četiri od dvanaest primera rešila najbrže. Rezultati drugog scenarija (tabela 8.17) sugerišu na prednost koje su ostvarile matheurističke metode u odnosu na CPLEX solver. VNB i VINS metode su našle optimalna rešenja za sve periode, dok je VNDS 0-1 MIP generisala kvalitetnija rešenja veoma brzo. Poslednji period je bio težak za rešavanje: CPLEX solver i VNDS 0-1 MIP metoda nisu mogli dobiti optimalna rešenja za poslednja dva perioda u zadatom vremenu. Sa druge strane, VNB i VINS metodama je bilo potrebno znatno veće CPU vreme (redom, 200.02 s i 480.859 s) za generisanje optimalnih rešenja u prvom periodu. Posmatrajući situaciju na stvarnom primeru, poslednjih nekoliko godina je primetan tzv. sezonski efekat koji podrazumeva da se trajanje turističke sezone produžilo i samim tim stvorilo dodatnu potražnju za prevozom od strane turista koji posećuju ovaj region. Prema tome, u ulaznim podacima je raspoloživo vreme prevoza putnika povećano za mesec oktobar, novembar i decembar. Iz tog razloga vreme rešavanja problema i alokacije brodova je postalo veće, naročito za CPLEX solver. Ovo će biti primetno i u ostalim scenarijima koji su ovde testirani (Škurić i drugi, 2020a).

Za treći scenario (tabela 8.18) sve matheuristike su dobile optimalno rešenje za prva tri perioda i sve su zahtevale više vremena za rešavanje nego CPLEX solver. Međutim, gledajući poslednji period, matheuristike su bile superiornije od CPLEX solvera kada je u pitanju vrednost dobiti i CPU vreme. Najveća vrednost dobiti je generisana VNDS 0-1 MIP metodom, dok je VINS najbrže dobio kvalitetne rezultate. VINS metoda prednjači u rezultatima za četvrti scenario (tabela 8.19) i to kako u pogledu vrednost dobiti tako i potrebnog vremena za rešavanje. Vrednosti koje je dobila VNB metoda se mogu posmatrati kao druga najbolja matheuristika (posmatrajući dobit operatora), dok je VNDS 0-1 MIP metoda zabeležila najslabije rezultate, iako je zauzela drugo mesto kada se posmatra utrošeno vreme za dobijanje rešenja (Škurić i drugi, 2020a).

Tabela 8.18. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za treći scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	CPLEX		VNB		VNDS 0-1 MIP		VINS	
	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$
Januar-Mart	644955.000	10.78	644955.000	500.06	644955.000	183.654	644955.000	200.415
April-Jun	616835.000	2.70	616835.000	327.37	616835.000	353.739	616835.000	90.600
Jul- Septembar	946555.000	980.76	946555.000	5512.53	946555.000	659.721	946555.000	450.130
Oktobar- Decembar	814075.000	7221.22	814080.000	4511.43	814095.000	8052.378	814080.000	601.481
Ukupno	3022420.000	8215.46	3022425.000	10851.39	3022440.000	9249.492	3022425.000	1342.626

Tabela 8.19. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za četvrti scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	CPLEX		VNB		VNDS 0-1 MIP		VINS	
	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$
Januar-April	830035.000	6.56	830035.000	500.06	830035.000	203.813	830035.000	61.741
Maj-Avgust	1048815.000	127.18	1048815.000	10521.64	1048815.000	1000.061	1048815.000	1502.856
Septembar- Decembar	1145560.000	14996.62	1145600.000	500.05	1145480.000	8636.551	1145670.000	4812.375
Ukupno	3024440.000	15130.36	3024450.000	11521.750	3024330.000	9840.425	3024520.000	6376.972

Tabela 8.20. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za peti scenario (Škurić i drugi, 2020a)

Period	CPLEX		VNB		VNDS 0-1 MIP		VINS	
	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$
Januar-Jun	1262535.000	8531.61	1262250.000	12906.25	1262245.000	2259.590	1262535.000	2968.717
Jul- Decembar	1761820.000	83953.48	1761900.000	60227.47	1761560.000	7218.157	1761340.000	2005.142
Ukupno	3024355.000	92485.09	3024150.000	73133.72	3023805.000	9477.747	3023875.000	4973.859

Tabela 8.21. Poređenje rezultata dobijenih CPLEX solverom i matheuristikama za jednu godinu (Škurić i drugi, 2020a)

Period	CPLEX		VNB		VNDS 0-1 MIP		VINS	
	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$	Dobit [\$]	$min_t[s]$
Jedna godina	3025325.000	74209.93	3025025.000	65009.26	3024790.000	27300.815	3025445.000	9765.151

U slučaju petog scenarija (tabela 8.20), CPLEX solver je generisao najbolja rešenja dobiti operatora prevoza iako mu je bilo potrebno preko 24 sata da ostvari ovakav rezultat. VINS je dobio optimalno rešenje funkcije cilja za prvi period 2.87 puta brže nego CPLEX solver. Za drugi period obezbedio je manje od 1% slabije rešenje nego CPLEX solver za skoro 42 puta kraće vreme izvršavanja. Važno je istaći da je najveću dobit prijavila VNB metoda, iako se povećanje dobiti od 80\$ (u odnosu na CPLEX solver) i 560 \$ (u odnosu na VINS) ne može smatrati značajnim posmatrajući celu godinu. Rezultati u tabeli 8.21 koji se odnose na jednu godinu, pokazali su superiornost VINS metode kada je u pitanju vrednost funkcije cilja i vremena potrebnog za rešavanje primera. Iako je dobijeno najbolje rešenje za 120 \$ bolje od onoga dobijenog CPLEX solverom, isti nije mogao poboljšati najbolje rešenje usled nedostatka memorije računara. Takođe, VINS ima mogućnost da ili poboljša rešenje ili da dokaže optimalnost ukoliko se poveća raspoloživo vreme rešavanja. CPU vreme koje je VINS metodi potrebno da dobije najbolje rešenje je 7.6 puta kraće od vremena potrebnog CPLEX solveru, što predstavlja značajno poboljšanje. U ovoj analizi je primetno da su matheuristike pokazale izvesnu superiornost u odnosu na CPLEX solver, naročito kada je u pitanju CPU vreme. Opšti zaključak je da se VNDS 0-1 MIP metoda može koristiti za dobijanje kvalitetnog rešenja (u odnosu na vrednost funkcije cilja) u kratkom vremenu, dok je VINS metoda obezbedila najveću vrednost funkcije cilja, a samim tim i dobiti operatora prevoza, ali ponekad za malo duže vreme (Škurić i drugi, 2020a).

9. ANALIZA POTRAŽNJE ZA TRAJEKTNIM PREVOZOM PUTNIKA

9.1. Opšte informacije

U ovom poglavlju se analizira potražnja za trajektnim prevozom putnika na primeru realnih pokazatelja broja turista koji su se prevozili izletničkim brodovima na četiri plovidbene linije u 2018. i 2019. godini u Bokokotorskom zalivu. U primerima iz osmog poglavlja testirano je više numeričkih eksperimenata za razne vrednosti potražnje za prevozom meštana na redovnim linijama i turista na turističkim linijama, gde se primenio razvijeni MILP model čiji su primeri rešavani u CPLEX egzaktnom solveru, dok su se matheurističke metode koristile za primer velike dimenzije. Međutim, za procenu vrednosti potražnje turista za prevozom, pošlo se od postojećih podataka za dve godine, da bi se kroz 95% interval poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom mogla predvideti dobit operatora prevoza koji raspolaže odgovarajućom flotom brodova.

Pri modeliranju transportnih problema, pa i problema definisanja optimalne veličine flote prevoznih sredstava, mora se voditi računa o tome da se obezbede odgovarajući prevoznici kapaciteti kojima bi se zadovoljila transportna potražnja. Do nesklada između prevoznih kapaciteta i neravnomernosti zahteva za prevozom dolazi onda kada nije unapred poznata potražnja ili je ista izložena nekim stohastičkim aspektima usled varijacija izazvanih sezonskim promenama, visinom cene prevoza, tehničkim rešenjima, otkazima sistema itd. Iz ovog razloga se stohastičnost određenih transportnih procesa u velikoj meri razmatrala u naučnoj literaturi, dok je na nivou putničke trajektno flote zabeleženo nekoliko istraživanja (Wang i drugi, 2008; Lo i drugi, 2013; An i Lo, 2014). Svakako, statističke metode se mogu primeniti u analizi potražnje za trajektnim prevozom putnika.

U nekim slučajevima se usled neizvesnosti potražnje za prevozom dešavaju situacije kada kapacitet trajektno flote za prevoz putnika nije dovoljan da zadovolji potražnju za prevozom u datom vremenskom periodu. Neadekvatno odgovaranje na zahteve za transportom, u smislu obezbeđenja prevoznog kapaciteta, treba redukovati

kako bi operator prevoza razvio odgovarajuću strategiju za planiranje kapaciteta i strukture trajektne flote. Shodno tome, moraju se razmotriti rešenja poput kupovine ili unajmljivanje dodatnih kapaciteta, tj. brodova u cilju efikasnosti samog sistema. Upravo odluke oko angažovanja dodatne flote dolaze do izražaja kada je neizvesnost ulaznih podataka u pitanju, kao što je potražnja za prevozom, cena unajmljivanja brodskih kapaciteta itd. Odluke operatora prevoza oko određivanja adekvatne strukture i veličine flote su strateškog karaktera i odnose se na duži vremenski period. Autori Bakkehaug i drugi (2014) u svom istraživanju su naveli neke od parametara koje karakteriše nivo neizvesnosti prisutan u pomorskom transportu:

- cena novoizgrađenih i korišćenih brodova,
- potražnja na tržištu korišćenih brodova,
- ponuda na tržištu korišćenih brodova,
- kapacitet vezova duž operativne obale luke,
- potražnja za dodatnim kapacitetima prevoza kroz unajmljivanje brodova,
- cena unajmljivanja brodova,
- potražnja za prevozom,
- operativni troškovi itd.

U radu Wang i drugi (2013) razmatran je pojam uposlenja linijske flote brodova za kontejnerski prevoz (eng. *liner ship fleet deployment*) koji se može primeniti i za ostale vrste brodarstva. Cilj navedenog istraživanja se odnosi na obezbeđenje odgovarajućeg broda ili flote brodova koji će realizovati kontejnerski prevoz uz minimalne operativne troškove. Stoga je potrebno imati pouzdanu informaciju o vrednosti potražnje za prevozom da bi se ostvarila maksimalna dobit operatora prevoza.

Uobičajeno je da se u istraživanjima iz ove oblasti primenjuju razne metode za procenu potražnje za teretnim, putničkim ili višenamenskim prevozom čime se oslikava stvarna situacija u brodarstvu, kada može doći do velikih pomeranja u potražnji za prevozom u odnosu na onaj procenjeni nivo, a takođe i do otkazivanja celokupnog transportnog zahteva, kao što je zabeleženo u situacijama COVID-19 krize. Sa druge strane, ukoliko se preceni potražnja i samim tim se obezbedi veći broj brodova koji se na kraju optimalno ne iskoriste, može dovesti takođe do finansijskog gubitka operatora

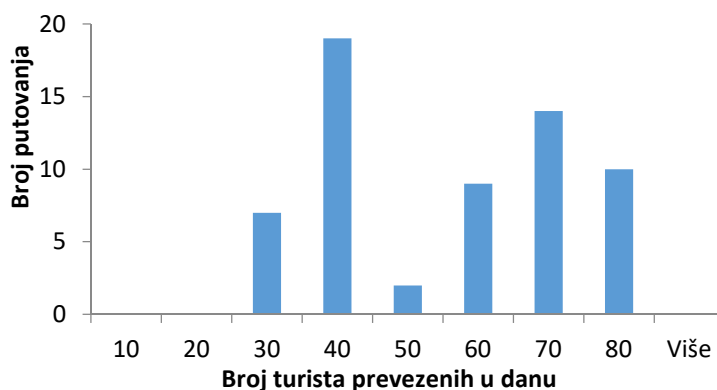
prevoza. Navedeni rizici koji dovode do neizvesnosti u potražnji za pomorskim prevozom nisu previše istraživani u literaturi. Obično se planiranje dodeljivanja optimalne veličine flote za realizaciju teretnog i putničkog prevoza morem definiše na godišnjem nivou, tako da se brodar odluči na povećanje ili smanjenje ponuđenih prevoznih kapaciteta na pojedinim transportnim linijama (Wang i drugi, 2013).

9.2. Statistička analiza prometa turista u Bokokotorskom zalivu

U ovom odeljku je prikazano istraživanje koje je sprovedeno na osnovu podataka prikupljenih tokom dve godine prometa turista u Bokokotorskom zalivu na sledećim plovidbenim linijama: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast, Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor, Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor i krstarenje celim zalivom (uključujući kraće linije). Kod statističke analize prolazi se kroz nekoliko faza koje podrazumevaju: statističko posmatranje, grupisanje i sređivanje podataka i obradu istih uz naučnu analizu dobijenih rezultata (Vukadinović i Popović, 2008). Potražnja za prevozom turista u posmatrane dve godine je grupisana u tri perioda. Prvenstveno je urađena analiza prikupljenih podataka za promet u 2018. i 2019. godini koji realizuju prevoz turista. Radi analize prometa putnika na posmatranim trajektnim linijama, svaka godina je podeljena na tri perioda. Podela na periode je urađena na osnovu potrebe za prevozom na posmatranim linijama i čvrsto je povezana sa letnjom sezonom i brojem poseta turista u zalivu.

Prvi period podrazumeva period pred i post sezone, tj. potražnju turista za trajektnim prevozom tokom aprila i oktobra meseca. Drugi period obuhvata potražnju turista od maja do septembra meseca, dok se treći period odnosi na promet turista u periodu van zvanične turističke sezone, tj. u martu i novembru mesecu. Iako je na nekim linijama potražnja za prevozom bila realizovana tokom februara meseca, u ovoj analizi ti podaci nisu razmatrani. Promet turista nije bio ostvaren u januaru i decembru.

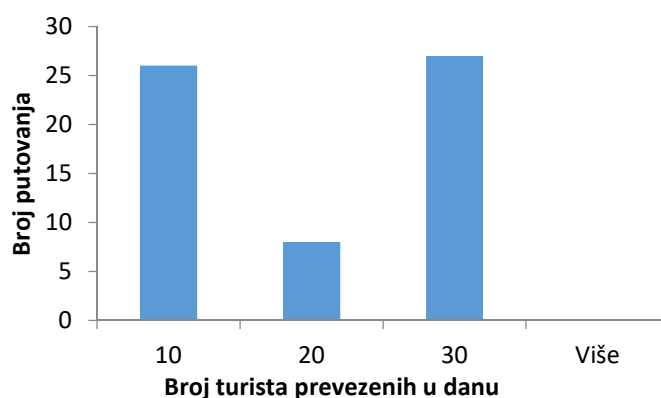
Na slici 9.1. prikazan je broj putovanja u zavisnosti od broja turista na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast tokom prvog perioda u 2018. godini.



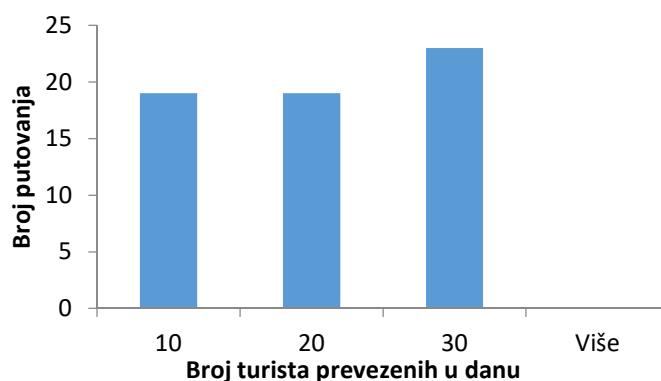
Slika 9.1. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast (PBPA, 2020a)

Uočava se da je na najvećem broju putovanja na navedenoj liniji prevezeno između 35 i 45 turista. Brodovi koji ovde realizuju putovanja su prevoznog kapaciteta do 55 putnika. U posmatranom periodu se često javlja potreba i za prevozom više od 55 turista, koliki je kapacitet broda, tako da se tada realizuju i po dva putovanja tokom jednog dana. Ukupan broj prevezenih turista u posmatranom periodu je 3147 (PBPA, 2020a).

Histogram sa brojem putovanja na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor tokom prvog perioda u 2018. godini je dat na slici 9.2. Na razmatranoj liniji je prevezen najmanji broj turista - 750. Uočava se da je na najvećem broju putovanja prevezeno između 25 i 35 turista (PBPA, 2020a).

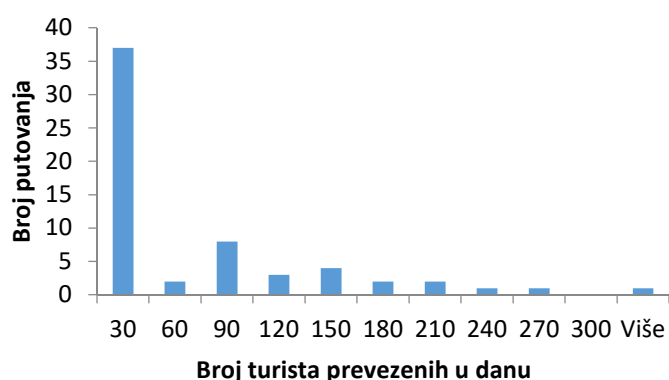


Slika 9.2. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)



Slika 9.3. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

Takođe, u slučajevima linija Perast – Gospa od Škrpjela – Perast i Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor, prevozni kapacitet brodova je 55 putnika. Za preostale dve plovidbene linije Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (treća linija) i krstarenje celim zalivom (četvrta linija), broj realizovanih putovanja u zavisnosti od broja turista za prvi period u 2018. godine, prikazani su na slikama 9.3 i 9.4 (PBPA, 2020a). Na trećoj i četvrtoj liniji je prevezeno 926 i 3036 turista, redom. Kada je u pitanju treća linija, najveći broj putovanja je ostvaren kada je na brodu bilo ukrcano između 25 i 35 turista, dok histogram za četvrtu liniju ukazuje da je čak brodom prevoznog kapaciteta 400 putnika bilo prevezeno preko 300 turista, a preko 30 puta je brod prevezio između 30 i 60 turista (PBPB, 2020b).



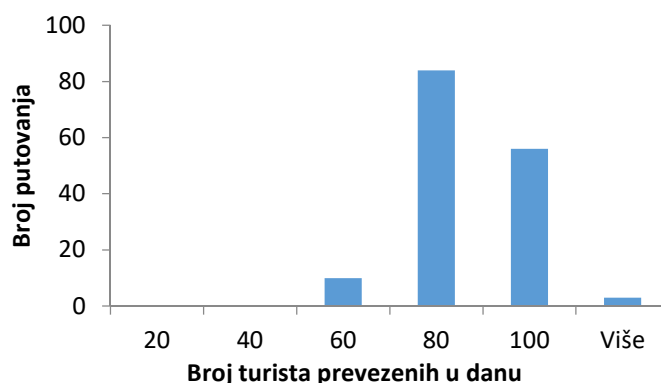
Slika 9.4. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom (PBPB, 2020b)

U tabeli 9.1 je dat procenat iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova na pojedinim linijama za prvi period.

Tabela 9.1. Procenat iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za prvi period u 2018. godini

	Linija 1	Linija 2	Linija 3	Linija 4
Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda	62%	22%	28%	13%

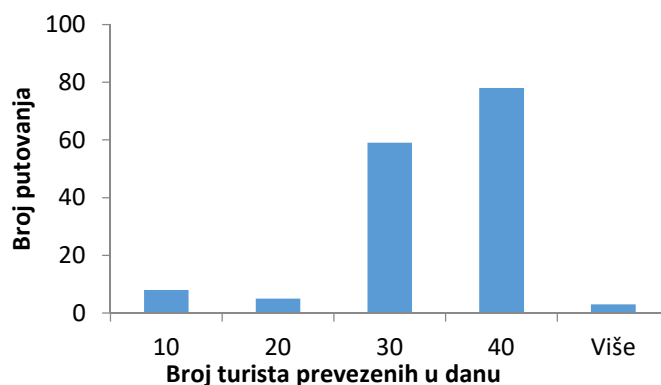
Kada je u pitanju drugi period, broj ostvarenih putovanja u odnosu na broj prevezenih turista na razmatranim plovidbenim linijama Perast – Gospa od Škrpjela – Perast, Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor, Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor i krstarenje celim zalivom su prikazane na slikama 9.5-9.8.



Slika 9.5. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast (PBPA, 2020a)

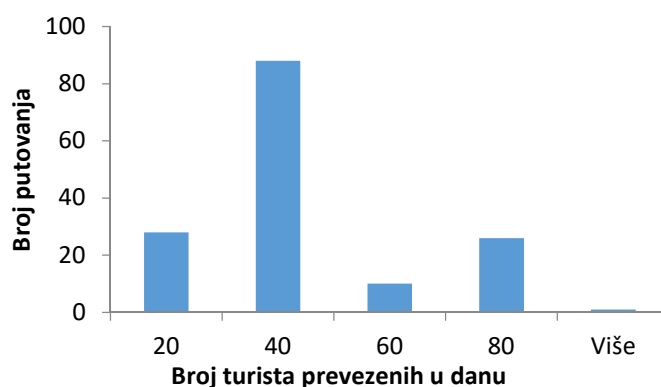
U razmatranom petomesečnom periodu na prvoj liniji je prevezeno ukupno 11996 turista i ukupna iskorišćenost flote brodova je iznosila 72%. Ovde je očigledno da je u većem broju dana potražnja za prevozom turista bila na visokom nivou, tj. da je brod prevoznog kapaciteta do 55 putnika tokom dana uglavnom pravio dva ili tri putovanja i bio značajno iskorišćen, što se sa slike 9.5 može uočiti (PBPA, 2020a).

U situaciji druge plovidbene linije Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor, brodovi su na dnevnom nivou jednom saobraćali i prevezli za pet meseci ukupno 4477 turista. Nivo iskorišćenosti prevoznih kapaciteta brodova je iznosio 53% (PBPA, 2020a).

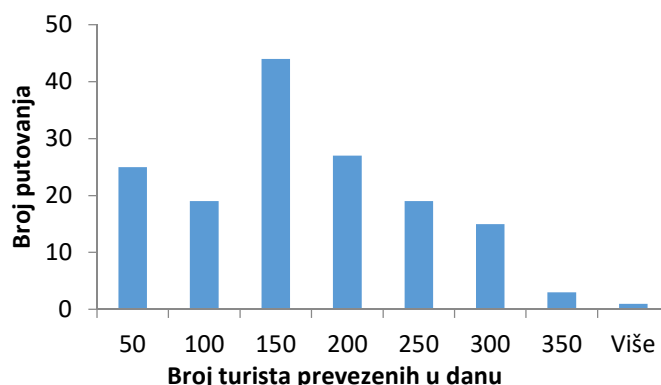


Slika 9.6. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

Na trećoj liniji su brodovi napravili 190 putovanja i ostvarili promet od 5218 turista (PBPA, 2020a). Broj putovanja u zavisnosti od broja turista je prikazan na slici 9.7.



Slika 9.7. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)



Slika 9.8. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom (PBPB, 2020b)

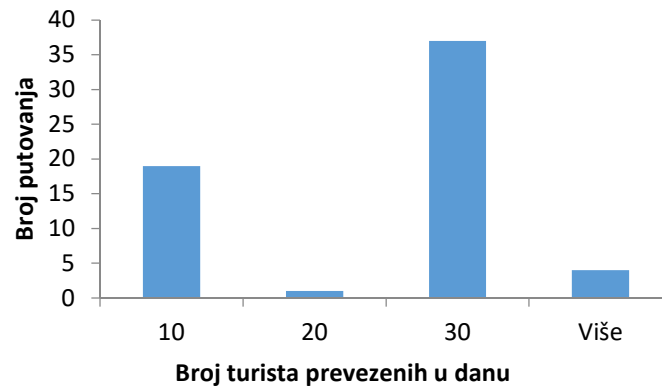
Konačno, na slici 9.8 je dat broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom. Kao što se može videti, najveći broj putovanja se odnosio na prevoz od 150 turista po obrtu broda. Ostvaren je promet od 21707 turista. U tabeli 9.2 su prikazani procenti iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda na posmatranim linijama za drugi period u 2018. godini.

Tabela 9.2. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za drugi period u 2018. godini

	Linija 1	Linija 2	Linija 3	Linija 4
Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda	72%	53%	50%	36%

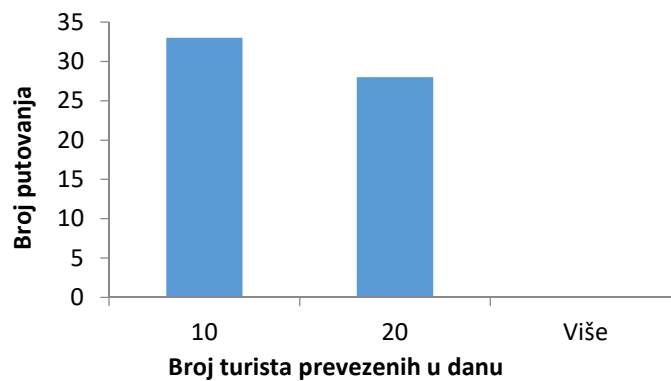
Broj putovanja u zavisnosti od broja turista prevezenih u toku jednog dana za treći period je prikazan na slikama 9.9 i 9.10. Prikazani su podaci za linije Perast – Gospa od Škrpjela – Perast i Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor u 2018. godini. Uglavnom je na prvoj liniji najveći broj putovanja ostvaren kada je potražnja za prevozom turista bila između 25 i 35 na dnevnom nivou. Ukupan broj prevezenih turista za dva meseca je iznosio 1097. Kod treće linije, evidentno je da je potražnja bila niska, pa je prevezeno 395

turista. U trećem periodu nije bilo potražnje za prevozom turista na drugoj i četvrtoj plovidbenoj liniji.



Slika 9.9. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast (PBPA, 2020a)

Nivo iskorišćenosti brodova je prikazan u tabeli 9.3. U martu i novembru mesecu ostvaren je najniži promet turista, jer je i potražnja za prevozom bila najniža u ovim mesecima.



Slika 9.10. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2018. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

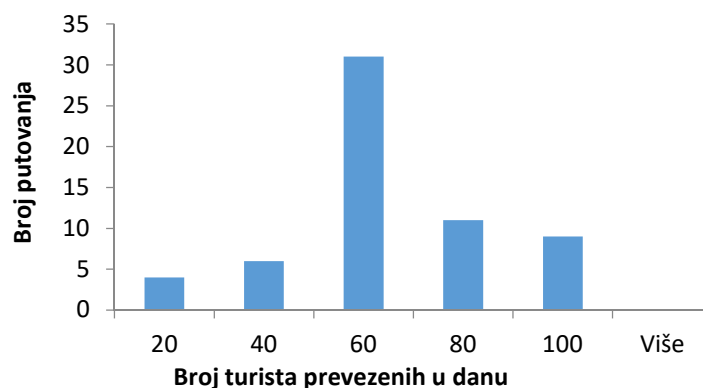
Tabela 9.3. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za treći period u 2018. godini

	Linija 1	Linija 3
Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda	33%	12%

Analogno prethodnoj statističkoj analizi za 2018. godinu, urađena je i analiza prevezenih turista u 2019. godini na istim plovidbenim linijama podjeljenim na tri perioda. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda je dat u tabeli 9.4. Na slikama 9.11-9.14 dat je prikaz histograma za prvi period za promet turista na četiri plovidbene linije u 2019. godini.

Tabela 9.4. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za prvi period u 2019. godini

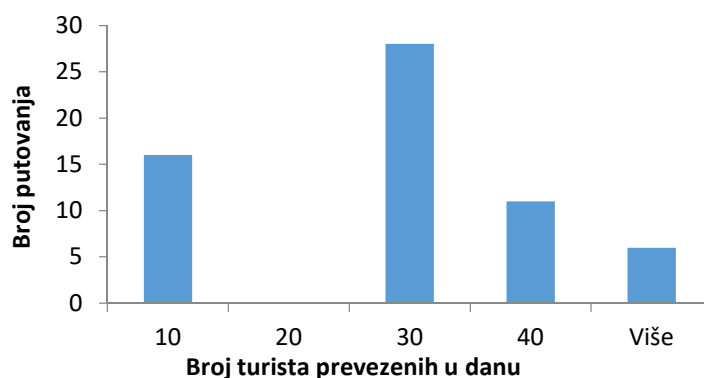
	Linija 1	Linija 2	Linija 3	Linija 4
Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda	70%	40%	36%	15%



Slika 9.11. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast (PBPA, 2020a)

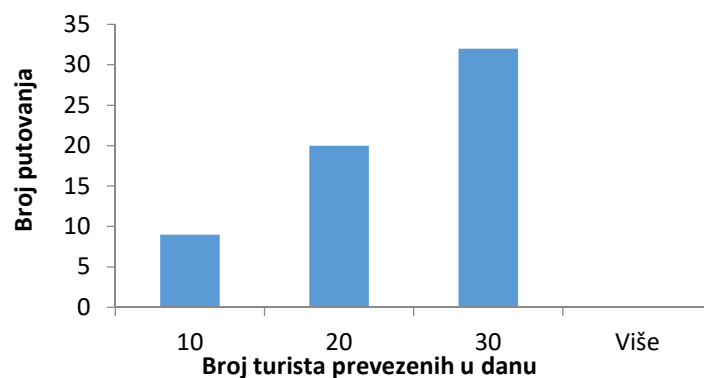
Najveći broj obavljenih putovanja na prvoj liniji je vezano za potražnju od između 55 i 65 turista na dnevnom nivou. Ukupno je prevezeno 3286 turista i može se

konstatovati da je na prvoj liniji i najveća iskorišćenost brodova u prvom periodu. U ovom slučaju je maksimalan broj putovanja broda tokom dana iznosio dva obrta (PBPA, 2020a). Sa slike 9.12 se može videti da je najveći broj putovanja ostvaren kada je prevezeno između 25 i 35 turista. Dnevno je na razmatranoj liniji napravljen maksimalno jedan obrt broda. Ukupan broj turista koji su potraživali prevoz je 1333 (PBPA, 2020a).



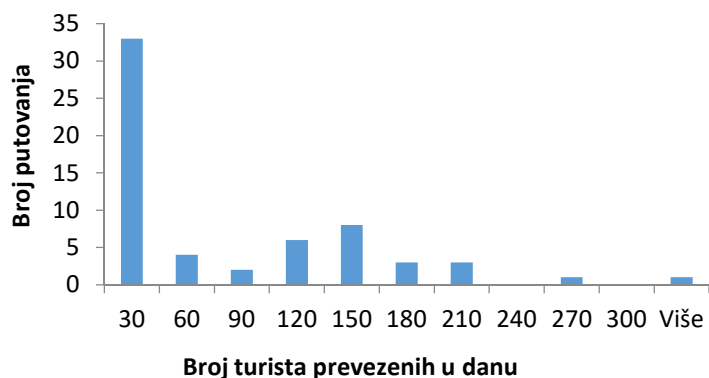
Slika 9.12. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

U slučajevima treće i četvrte plovidbene linije, sa slike 9.13 je evidentno da je slična situacija kao kod druge linije, pri čemu je u proseku prevezeno 30 turista po putovanju.



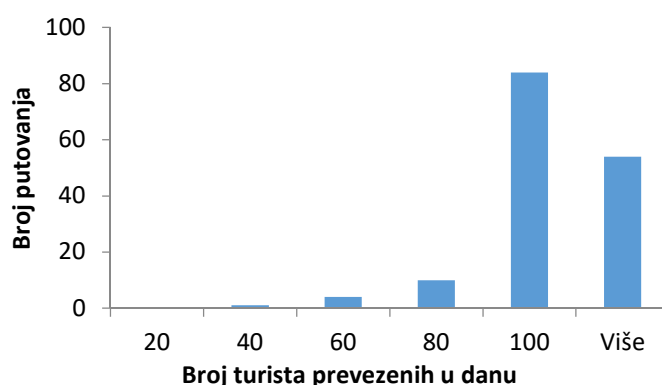
Slika 9.13. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

Na trećoj liniji je u prvom periodu prevezeno ukupno 1206 turista (PBPA, 2020a). Najniža iskorišćenost prevoznog kapaciteta broda je vezana za četvrtu plovidbenu liniju (slika 9.14), iako je ovde prevezen najveći broj turista za dvomesečni period, i to 3684. Na četvrtoj liniji je maksimalan broj prevezenih turista bio 302. Najveći broj putovanja je obavljen kada je na brodu bilo između 25 i 35 turista, i to 33. Ostvareno je osam putovanja na kojima je prevezeno između 145 i 155 turista u prvom periodu (PBPB, 2020b).



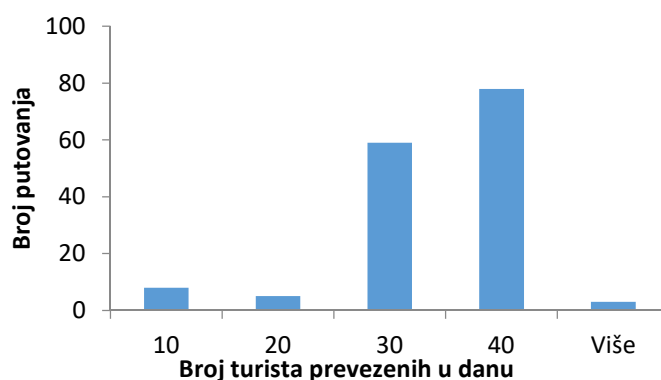
Slika 9.14. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u prvom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom (PBPB, 2020b)

Histogrami za drugi period u 2019. godini po linijama su prikazani na slikama 9.15-9.18.



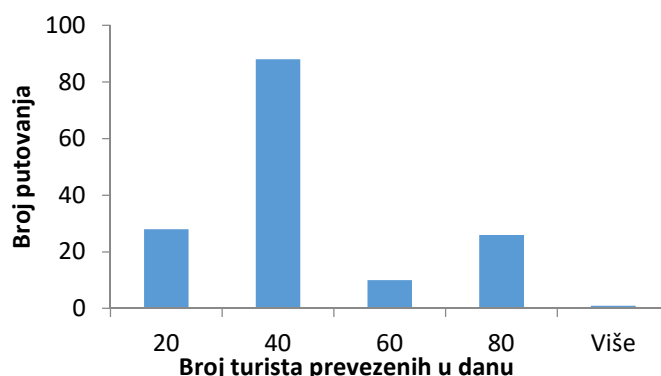
Slika 9.15. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast (PBPA, 2020a)

Sa histograma se vide podaci o broju prevezenih turista za pojedine plovidbene linije. Interesantno, na prvoj liniji je najveći broj putovanja ostvaren kada se prevozilo između 95 i 105 turista, što znači da se na navedenoj liniji angažovao brod koji je maskimalno realizovao tri putovanja tokom dana. Tada je prevezeno 14810 turista za petomesečni razmatrani period i iskorišćenost broda prevoznog kapaciteta do 55 putnika je bila najveća do sada, na nivou od 83% (PBPA, 2020a). Sa slike 9.16 se uočava da je na preko 70 putovanja prevezeno između 35 i 45 turista i ukupno 4938 u drugom periodu. Zatim sledi približno 60 putovanja na kojima je prevezeno između 25 i 35 turista. Iskorišćenost broda je iznosila 59% (PBPA, 2020a).



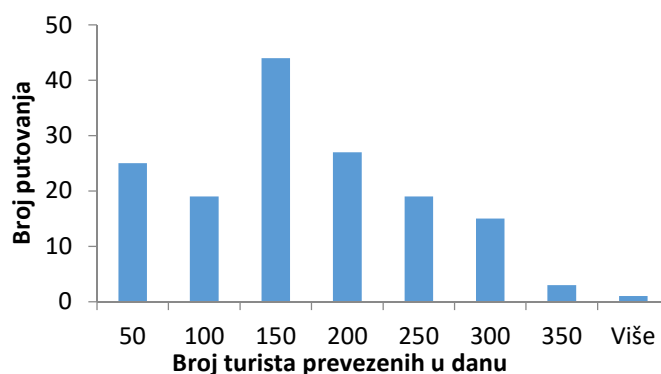
Slika 9.16. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

Na slici 9.17 prikazan je broj putovanja u zavisnosti od broja turista na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor. U drugom periodu je transportovano 5431 turista, pri cemu je najveći broj putovanja ostvaren kada je na brodu bilo između 35 i 45 putnika. Nivo iskorišćenosti broda koji je realizovao ova putovanja je 54% (PBPA, 2020a).



Slika 9.17. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu na plovidbenoj liniji krstarenje celim zalivom u 2019. godini je prikazan u obliku histograma na slici 9.18. Tada je transportovano 26849 turista i prosečna iskorišćenost prevoznog kapaciteta broda je iznosila 44%. Najveći broj putovanja je ostvaren kada je na brodu bilo između 145 i 155 turista (PBPB, 2020b).



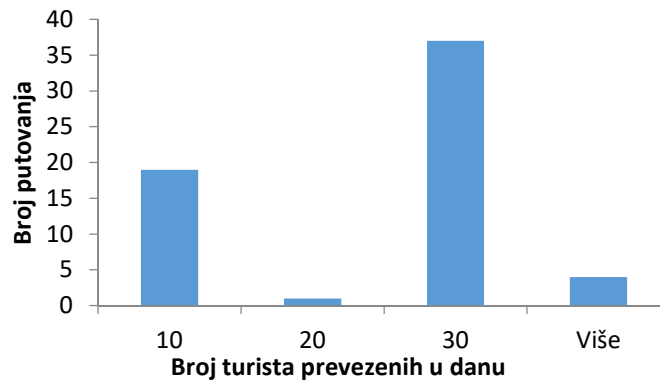
Slika 9.18. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u drugom periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: krstarenje celim zalivom (PBPB, 2020b)

U tabeli 9.5 je dat nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za drugi period u 2019. godini kada je prevezen i najveći broj turista: 52028.

Tabela 9.5. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za drugi period u 2019. godini

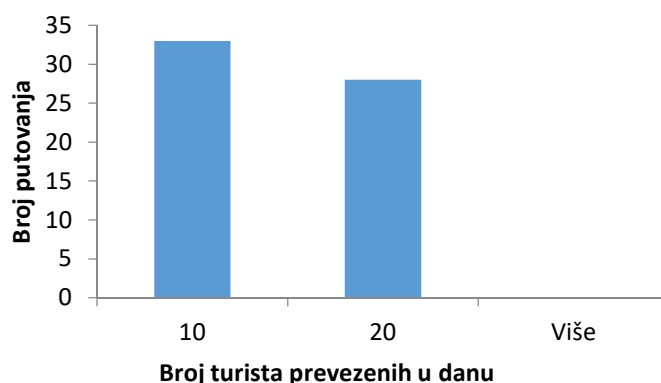
	Linija 1	Linija 2	Linija 3	Linija 4
Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta broda	83%	59%	54%	44%

Posmatrajući prvu i treću plovidbenu liniju za treći period u 2019. godini, na slikama 9.19 i 9.20 su dati histogrami broja putovanja u zavisnosti od broja prevezenih turista.



Slika 9.19. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast (PBPA, 2020a)

Veoma mali broj turista je prevezeno u navedenom dvomesečnom periodu – ukupno 531 i 482 turista na prvoj i trećoj liniji, redom. Na prvoj liniji je najveći broj putovanja ostvaren kada je prevezeno između 25 i 35 turista. Što se tiče treće linije, prevezeno je između 10 i 20 turista po putovanju (PBPA, 2020a).



Slika 9.20. Broj putovanja u zavisnosti od broja turista u trećem periodu 2019. godine na plovidbenoj liniji: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor (PBPA, 2020a)

U tabeli 9.6 je dat nivo iskorišćenosti kapaciteta brodova na prvoj i trećoj liniji u trećem periodu u 2019. godini.

Tabela 9.6. Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova za treći period u 2019. godini

	Linija 1	Linija 3
Nivo iskorišćenja prevoznog kapaciteta brodova	16%	15%

9.3. Intervalna procena očekivanog broja putnika na linijama

U ovom odeljku su prikazani 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista na razmatranim plovidbenim linijama. Prvo je dat tabelarni prikaz intervala poverenja za očekivani broj putnika po posmatranim linijama i po definisanim periodima.

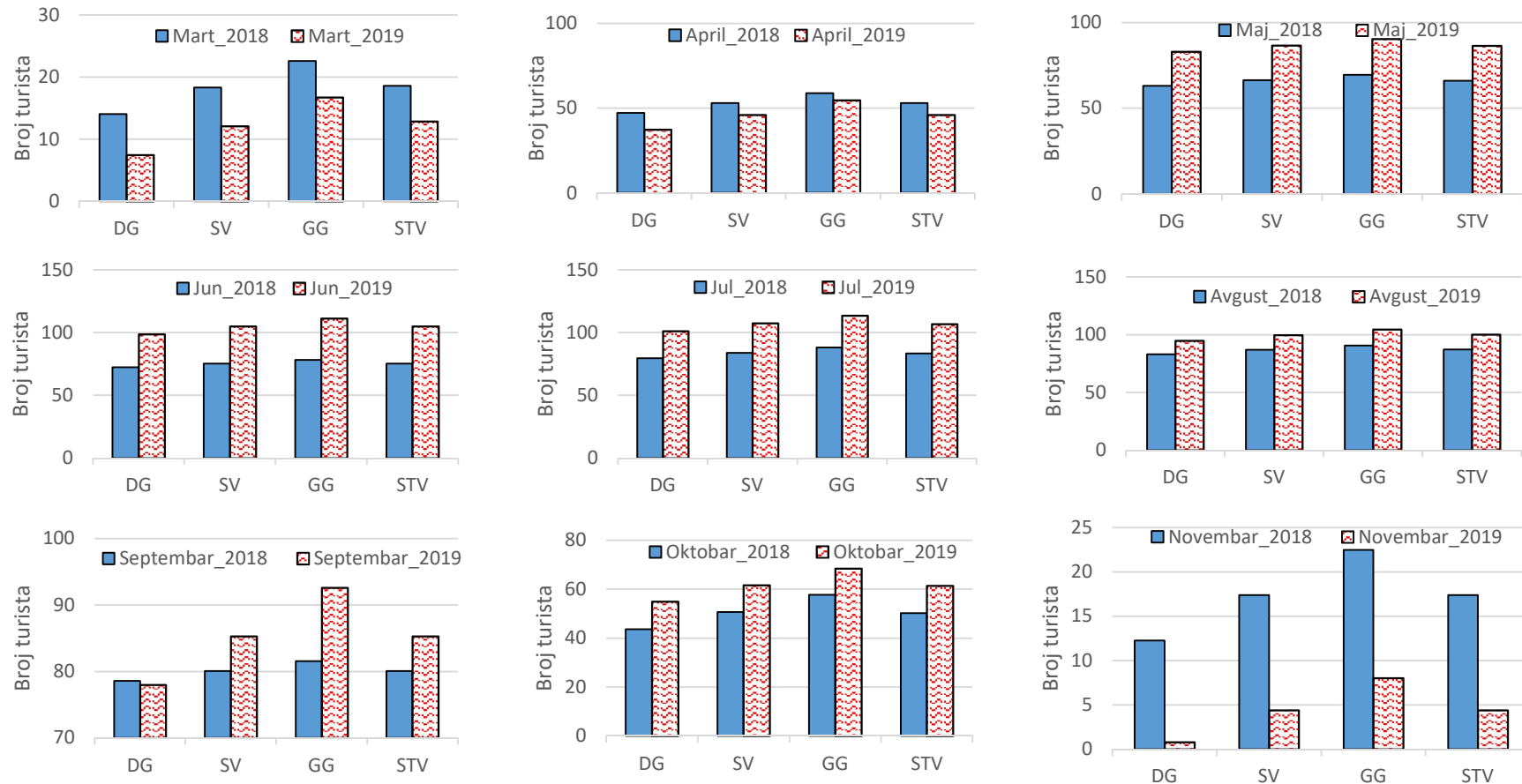
Izlazni podaci za pojedinačne mesece prvog, drugog i trećeg perioda za obe godine su prikazani u Prilogu II, tabele II.1-6. U drugom delu ovog odeljka su dati rezultati 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje turista za trajektnim prevozom kada su se periodi posmatrali integralno.

U tabeli II.2 Priloga II su prikazani rezultati intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za pojedinačne mesece drugog perioda na svim plovidbenim linijama u 2018. godini. Evidentan je porast srednje vrednosti potražnje od maja do avgusta 2018. godine na prvoj, drugoj i trećoj plovidbenoj liniji, dok se uočava pad potražnje za prevozom u septembru mesecu. Na četvrtoj liniji je u septembru zabeležena najveća srednja vrednost potražnje za prevozom. Intervali poverenja za srednju vrednost potražnje za pojedinačne mesece trećeg perioda na plovidbenim linijama u 2018. godini su prikazani u tabeli II.3 Priloga II. Uočava se da su prevozne aktivnosti turista realizovane samo na prvoj i trećoj plovidbenoj liniji.

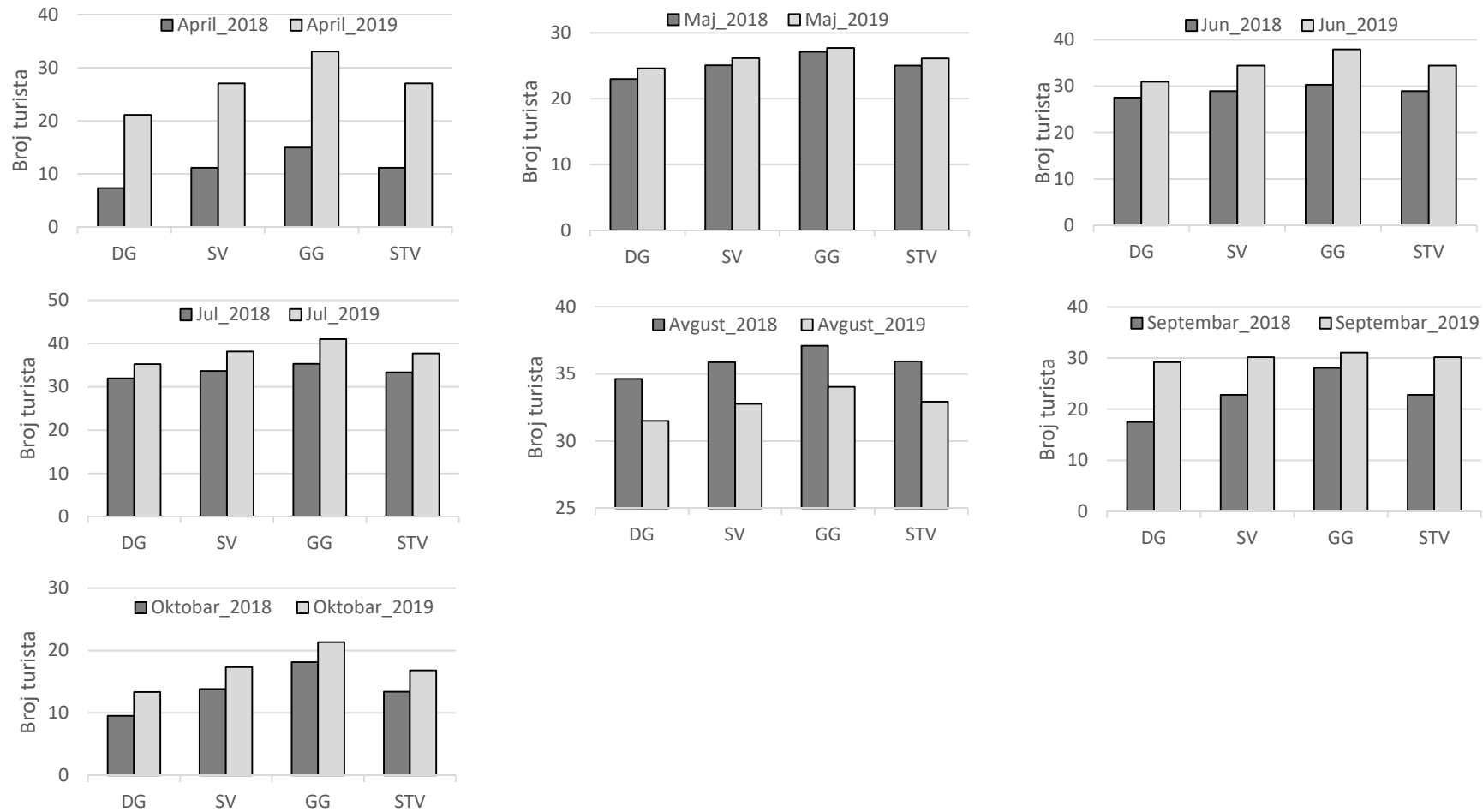
Intervali poverenja za očekivani broj turista za april i oktobar u 2019. godini za sve plovidbene linije su prikazani u tabeli II.4 Priloga II. U tabeli II.5 Priloga II su dati izlazni podaci za pojedinačne mesece drugog perioda u 2019. godini za sve četiri linije. Uočava se da je u slučaju prve dve linije jul mesec bio na prvom mestu kada je potražnja za prevozom turista u pitanju. Kada je u pitanju treća linija, najveća prosečna potražnja je bila u avgustu mesecu, dok je za četvrtu liniju septembar mesec bio najprometniji. Intervali poverenja za mesece trećeg perioda na svim plovidbenim linijama u 2019. godini su dati u tabeli II.6 iz Priloga II. Ovde su posmatrane prva i treća plovidbena linija.

Na slikama 9.21-9.24 prikazani su uporedni statistički podaci za vrednosti stvarne potražnje i 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za prvu, drugu, treću i četvrtu liniju, redom, posmatrajući 2018. i 2019. godinu. Oznake vrednosti donje granice 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista je DG; oznaka SV predstavlja srednju vrednost potražnje za prevozom turista; GG je gornja granica 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista; STV predstavlja stvarnu potražnju za prevozom turista.

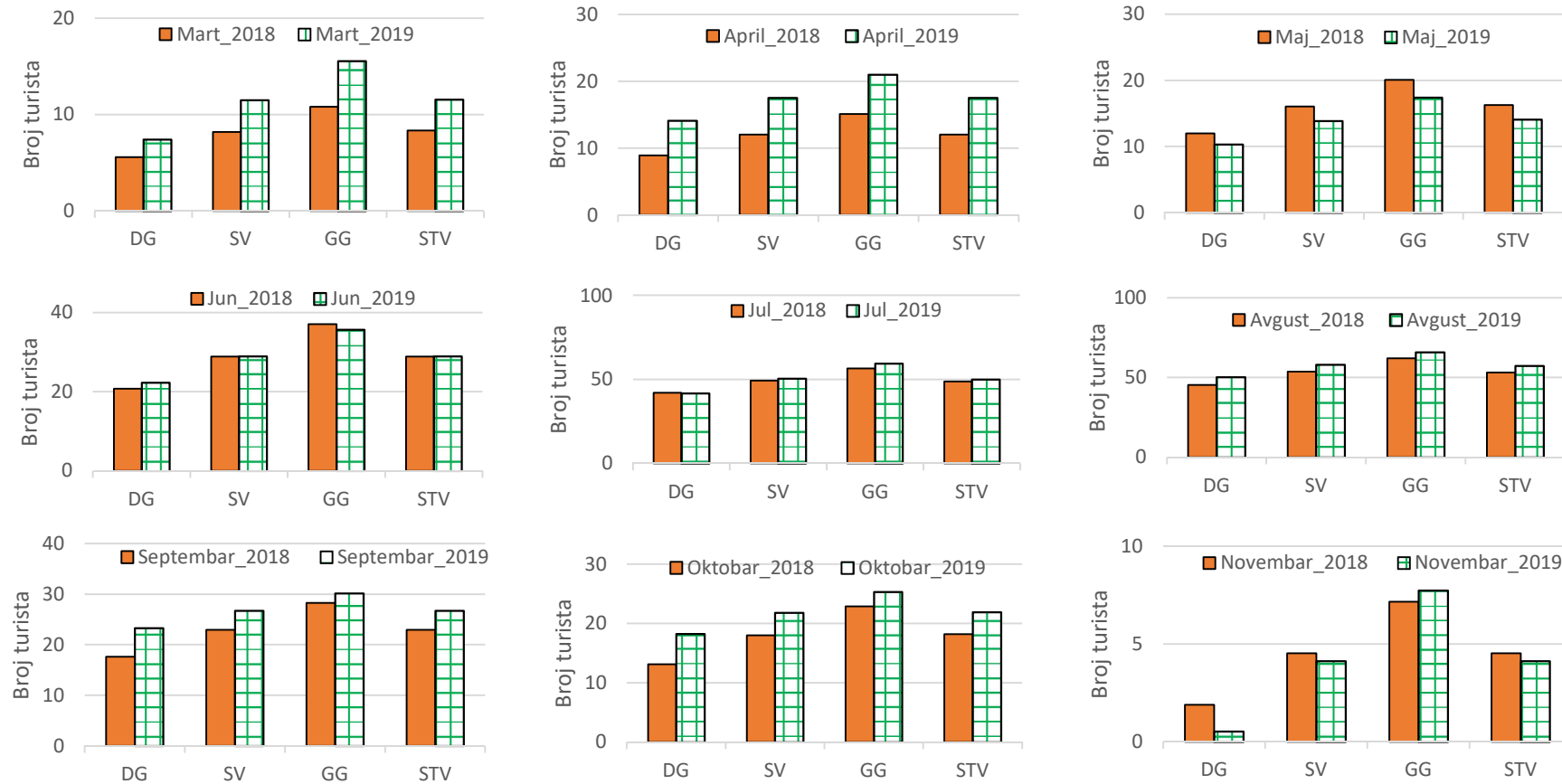
Sa slike 9.21, kada je u pitanju prva plovidbena linija, uočava se da je u 2018. godini veća vrednost stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom bila u martu, aprilu, delimično septembru i novembru mesecu nego u istim periodima u 2019. godini, dok su u ostalim posmatranim mesecima zabeležene veće vrednosti stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom u 2019. godini.



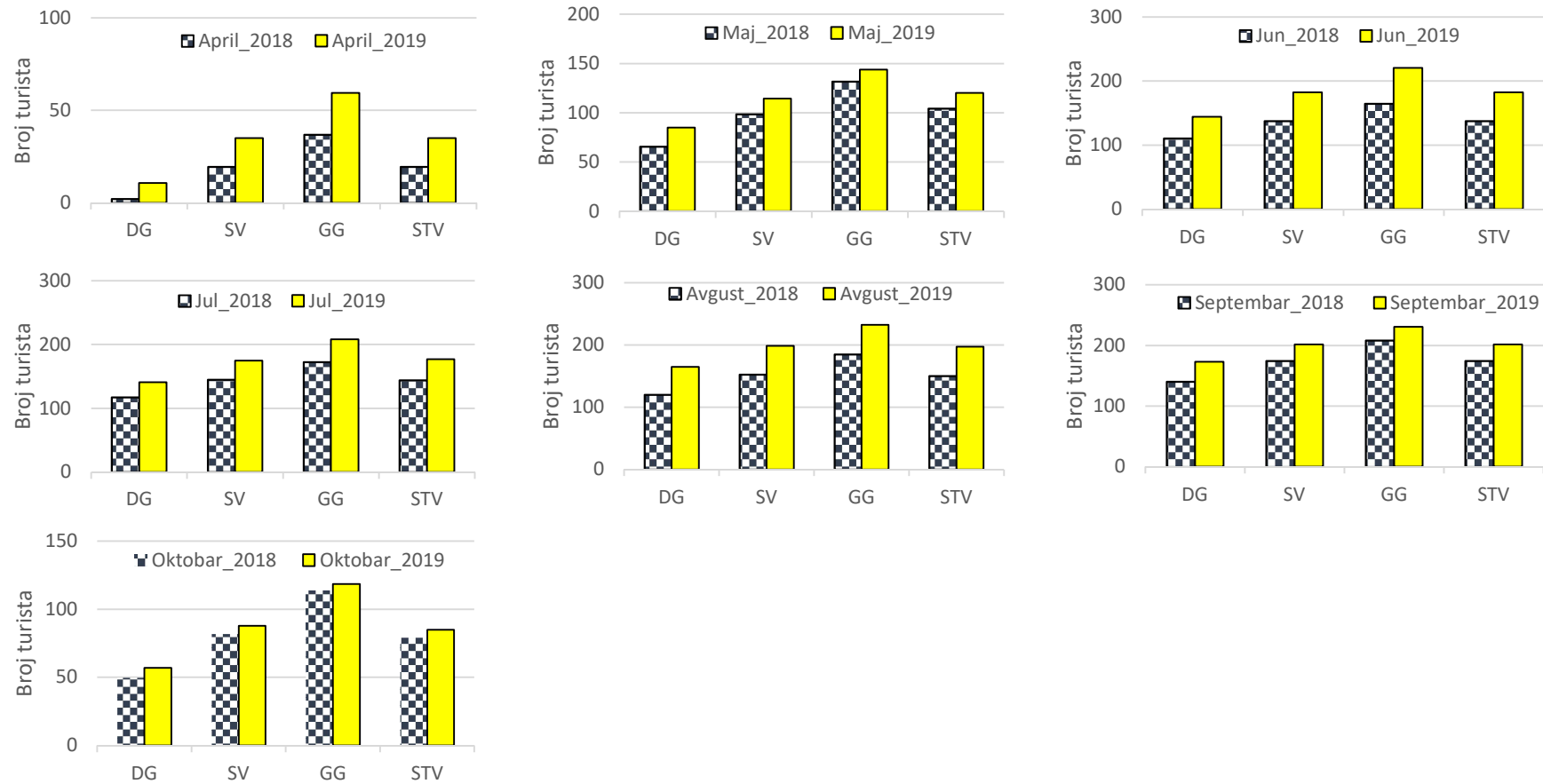
Slika 9.21. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za prvu liniju



Slika 9.22. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za drugu liniju



Slika 9.23. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za treću liniju



Slika 9.24. Stvarna potražnja i vrednosti 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za četvrtu liniju

Posmatrajući sliku 9.22 i statističke podatke za drugu liniju, evidentno je da je u periodu od aprila do jula, veća vrednost stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom septembru i oktobru bila karakteristična za 2019. godinu u odnosu na 2018. godinu. Jedino je u avgustu veća vrednost stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom bila u 2018. godini.

Na trećoj liniji (slika 9.23) je primetno da je vrednost stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za mart, april, delimično jun i jul, avgust, septembar, oktobar i delimično novembar manja 2018. godine nego u 2019. godini. Sa druge strane, rezultati u maju, delimično junu, julu i novembru ukazuju na veću vrednost stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje u 2018. godini u odnosu na 2019. godinu.

Na slici 9.24 rezultati vrednosti stvarne i svih 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za sve mesece su veći u 2019. godini u poređenju sa 2018. godinom. Kao što se može primetiti, smenjuju se vrednosti potražnje u posmatrane dve godine, međutim rezultati prikazani na dijagramima u nedostatku većeg broja statističkih podataka ne impliciraju da bi u narednom periodu očekivan trend trebalo da bude povećanje potražnje za prevozom, tako da bi predikcija na ovu temu bila deo nekog narednog istraživanja pod uslovom da se intenzivno prate i prikupljaju buduće informacije u cilju optimalnog dimenzionisanja raspoložive flote trajektnih brodova.

Ukoliko periode posmatramo kao celine, rezultati 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista su prikazani u tabelama 9.7-9.12 za sve plovidbene linije u 2018. i 2019. godini. Ovde je interesantno primetiti da je najveća srednja vrednost potražnje vezana za prvu plovidbenu liniju. Za njom sledi prosečna potražnja za prevozom na četvrtoj ruti, dok je najniža bila ostvarena na drugoj plovidbenoj liniji. Kao i u prethodnim primerima, najveća vrednost standardnog odstupanja potražnje je vezana za četvrtu plovidbenu liniju, znajući da 37 dana od posmatranih 61 prevoz na razmatranoj liniji nije bio realizovan i tada je potražnja za prevozom turista bila 0. U tabeli 9.8 su predstavljene rezultati 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje za prevozom turista za drugi period na svim plovidbenim linijama u 2018. godini.

Tabela 9.7. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u prvom periodu na svim plovidbenim linijama u 2018. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
AO_2018	51.5902	47.1731	56.0072	17.24662
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
AO_2018	12.2951	9.5011	15.0891	10.90924
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
AO_2018	15.1803	12.3060	18.0546	11.22276
<i>Krstarenje celim zalivom</i>				
AO_2018	49.7705	30.5784	68.9626	74.93628

Najveća srednja vrednost potražnje za prevozom turista je ostvarena na četvrtoj plovidbenoj liniji. Na ruti je takođe primetna i najveća vrednost standardnog odstupanja. U slučaju prve linije, prosečna vrednost potražnje ukazuje da je dnevno bilo potrebno napraviti minimum dva obrta broda, što ukazuje na povećan intenzitet pomorskog saobraćaja. Za 2019. godinu i prvi period u tabeli 9.10 su predstavljeni rezultati 95% intervala poverenja za srednju vrednost potražnje na svim plovidbenim linijama. Iz tabele je primetno da je na četvrtoj liniji ostvarena najveća srednja vrednost potražnje za prevozom turista.

Sledi prosečna potražnja za prevozom na prvoj ruti, dok je najniža bila ostvarena na trećoj plovidbenoj liniji. Sličan scenario je primetan u tabeli 9.11 za drugi period, pri čemu je ovde najniža vrednost prosečne potražnje vezana za drugu plovidbenu liniju.

Intervali poverenja za srednju vrednost potražnje za treći period na svim plovidbenim linijama u 2019. godini su prikazani u tabeli 9.12.

Tabela 9.8. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u drugom periodu na svim plovidbenim linijama u 2018. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
MS_2018	78.4052	76.5799	80.2306	11.42794
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
MS_2018	29.2614	27.8569	30.6660	8.79352
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
MS_2018	34.1046	30.4164	37.7928	23.09083
<i>Krstarenje celim zalivom</i>				
MS_2018	141.8758	128.2131	155.5385	85.53887

Posmatrajući rezultate za treći period u tabeli 9.9, uočava se niska prosečna potražnja za prevozom na prvoj i trećoj liniji.

Tabela 9.9. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u trećem periodu na plovidbenim linijama u 2018. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
MN_2018	17.9836	14.7993	21.1679	12.43314
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
MN_2018	6.4754	4.6329	8.3179	7.19399

Tabela 9.10. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u prvom periodu na svim plovidbenim linijama u 2019. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
AO_2019	53.8689	48.2789	59.4588	21.82619
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
AO_2019	21.8525	18.1396	25.5653	14.49694
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
AO_2019	19.7705	17.3560	22.1850	9.42761
<i>Krstarenje celim zalivom</i>				
AO_2019	60.3934	40.3941	80.3928	78.08826

Tabela 9.11. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u drugom periodu na svim plovidbenim linijama u 2019. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
MS_2019	90.8424	87.6120	94.0728	22.20919
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
MS_2019	29.6685	28.2421	31.0949	9.80654
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
MS_2019	33.2065	29.9672	36.4458	22.27059
<i>Krstarenje celim zalivom</i>				
MS_2019	160.2283	146.1660	174.2905	96.67919

Tabela 9.12. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u trećem periodu na plovidbenim linijama u 2019. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
MN_2019	3.1818	0.0990	6.2647	6.95315
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
MN_2019	9.0909	4.1011	14.0808	11.25424

4. Rezultati dimenzionisanja flote brodova

Da bi se na stvarnom primeru četiri plovidbene linije optimalno dimenzionisala flota brodova kojom raspolaže operator prevoza, posmatrao se devetomesečni period potražnje putnika-turista za prevozom na različitim linijama koje su opisane u drugom odeljku ovog poglavlja. Primenjen je formulisani matematički model za maksimizaciju dobiti operatora prevoza putnika i rešavan je uz pomoć CPLEX egzaktnog solvera.

Nakon više iterativnih postupaka određivanja veličine flote brodova (a pozivajući se na stvarno angažovanje brodova prevoznog kapaciteta od 55 (tri broda obeležena sa b1, b2 i b3, redom) i 400 putnika (jedan brod, obeležen sa b4) za navedene linije), u tabelama 9.13 i 9.14 dati su rezultati za vrednosti dobiti i CPU vremena, kao i predloženi angažmani flote generisani CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2018. i 2019. godini. Kada je u pitanju 2018. godina, dobit operatora dobijena CPLEX solverom je veća od stvarne dobiti operatora, jer je manji broj putovanja u pojedinim periodima zabeležio brod b4, dok su više putnika na četvrtoj liniji prevozili brodovi b1, b2 i b3 nego što je to bio slučaj u realnoj situaciji, kada je svakoj liniji dodeljivan samo po jedan brod za realizaciju prevoza putnika.

Tabela 9.13. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2018. godini

Mesec	Stvarna dobit (\$)	CPLEX dobit (\$)	Angažovani brodovi
Mart	1652.000	2448.500	b1, b2, b3
April	22953.000	24332.000	b1, b2, b3
Maj	70552.000	102428.000	b1, b2, b3, b4
Jun	88796.000	120954.000	b1, b2, b3, b4
Jul	102229.000	119136.000	b1, b2, b3, b4
Avgust	107688.000	158107.000	b1, b2, b3, b4
Septembar	102562.000	114028.000	b1, b2, b3, b4
Oktobar	54839.000	70746.000	b1, b2, b3
Novembar	3693.000	3716.500	b1, b2, b3
Ukupno	554964.000	715896.000	b1, b2, b3, b4

Rezultat dobijene povećane dobiti u ovom primeru proizilazi iz toga da je kod modeliranja svakom brodu data mogućnost prevoza na svim linijama, za razliku od realne situacije u kojoj operator alokira tri broda prevoznih kapaciteta od po 55 putnika samo na prve tri plovidbene linije, dok je angažovanje četvrtog broda prevoznog kapaciteta od 400 putnika bilo vezano samo za četvrtu plovidbenu liniju. U modelu je data mogućnost operatoru prevoza da kombinuje brodove različitih prevoznih kapaciteta na svim linijama.

Kada je reč o 2019. godini, takođe je CPLEX solverom generisana veća dobit u odnosu na stvarnu pri čemu je više angažovan brod b4 nego u 2018. godini usled povećanog prometa putnika (što se može videti u aprilu i oktobru 2019. godine), a razlog je ekvivalentan navedenom u primeru za 2018. godinu. CPLEX solver je relativno lako rešio sve primere (mesece) i u ovom slučaju. U slučaju testiranih primera za 2018. i 2019. godinu, CPLEX je dobio optimalna rešenja za veoma kratko vreme rada računara.

U cilju dalje analize uticaja strukture (dimenzionalnosti) flote na dobit operatora prevoza, razmatrani su novi slučajevi (scenariji) u kojima se koriste drugi tipovi brodova koji se nalaze na tržištu ponude za kupovinu i brodovi koje je moguće unajmiti za prevoz putnika. Brodovi koje je moguće kupiti su: brod b5 kapaciteta od 12 putnika; brod b6

prevoznog kapaciteta od 24 putnika; brodom b7 je moguće maksimalno prevoziti 55 putnika; brod b8 je prevoznog kapaciteta 70 putnika; brodom b9 je moguće prevoziti 150 putnika i brodom b10 se može prevoziti maksimalno 200 putnika. Brodovi koji se nalaze na tržištu i mogu biti unajmljeni za prevoz putnika su: brod b11 prevoznog kapaciteta do 12 putnika; brod b12 može prevoziti do 24 putnika; 55 putnika maksimalno se može prevoziti brodom b13; brodom b14 je moguće transportovati 70 putnika; brodom b15 se može prevoziti ukupno 150 putnika, dok brodom b16 se može transportovati 200 putnika. Ulazni parametri flote su prilagođeni podacima iz prethodnog poglavlja.

Tabela 9.14. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2019. godini

Mesec	Stvarna dobit (\$)	CPLEX dobit (\$)	Angažovani brodovi
Mart	7139.000	10954.000	b1, b2, b3
April	35006.000	45859.000	b1, b2, b3, b4
Maj	80868.000	94537.000	b1, b2, b3, b4
Jun	115047.000	150253.000	b1, b2, b3, b4
Jul	122971.000	148619.000	b1, b2, b3, b4
Avgust	131619.000	175911.000	b1, b2, b3, b4
Septembar	119108.000	150787.000	b1, b2, b3, b4
Oktobar	59662.000	78113.000	b1, b2, b3, b4
Novembar	1652.000	5515.000	b1
Ukupno	673072.000	860548.000	b1, b2, b3, b4

Primenom MILP modela u tabeli 9.15 dati su rezultati za vrednosti dobiti, neiskorišćenih sedišta i angažovane flote brodova generisani CPLEX solverom za 2018. godinu (uz ograničenje rada svakog primera od 60 sekundi).

Kao što se može videti, ukupna dobit koja je dobijena uz pomoć CPLEX solvera iznosi 868013.5 \$ i veća je od stvarne dobiti (554964 \$) koja je postignuta kada su bili angažovani brodovi b1-b4.

Tabela 9.15. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2018. godini sa izlaznim rezultatima praznih sedišta i strukture flote

Mesec	Stvarna dobit (\$)	CPLEX dobit (\$)	Neisk. sedišta (CPLEX)	Angažovani brodovi (CPLEX)
Mart	1652.000	6548.000	643	b1, b2, b3, b11
April	22953.000	30484.500	702	b1, b2, b3, b12
Maj	70552.000	112266.000	1091	b1, b2, b3, b11, b12
Jun	88796.000	113276.000	813	b1, b2, b3, b11, b12
Jul	102229.000	191286.500	1473	b1, b2, b3, b5, b11, b12
Avgust	107688.000	197635.000	1456	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12
Septembar	102562.000	107635.000	1092	b1, b2, b3, b4, b11, b12
Oktobar	54839.000	99004.500	1263	b1, b2, b3, b11, b12
Novembar	3693.000	9878.000	460	b1, b2, b3, b11
Ukupno	554964.000	868013.500	8993	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12

Procenat viška sedišta koja nisu bila iskorišćena na brodu je iznosio 14.57% (ukupno 8993 sedišta) za devetomesečni period u 2018. godini. Struktura flote koja je dobijena CPLEX solverom je uključivala sve brodove postojeće flote: b1, b2, b3, b4; brod b5 je potrebno kupiti, dok je potrebno unajmiti brodove b11 i b12 da bi se ostvarila veća dobit operatora prevoza za posmatranu godinu. Ukoliko se nakon ove analize operator prevoza odluči da za sledeću godinu (2019.) u svojoj postojećoj floti uključi brod b5 iz primera za 2018. godinu, onda su rezultati modeliranja dobijeni CPLEX solverom za 2019. godinu prikazani u tabeli 9.16. I u ovom primeru ukupna dobit koja je dobijena uz pomoć CPLEX solvera iznosi 767372 \$ (sa dopunjenom flotom brodova b1-b5) i veća je od stvarne dobiti (673072 \$) koja je postignuta kada su bili korišćeni samo brodovi b1-b4. Broj neiskorišćenih sedišta na brodovima iznosi 6223, što iznosi 9.01% viška sedišta na brodovima u 2019. godini. Dobijena rešenja strukture flote ukazuju na angažovanje brodova postojeće flote b1-b5 i najam brodova b11 i b12 da bi se ostvarila veća dobit operatora prevoza za posmatranu godinu. U ovom slučaju nije potrebno kupiti novi brod koji se nudi na tržištu. U prilogu analizi za 2019. godinu je i činjenica da je operator opredelio godišnje 94500 \$ manje za ulaganje u novu ili unajmljenu flotu za razliku od

2018. godine. To je rezultat kupovine broda b5 u prethodnoj godini, tako da se ostvarila dodatna ušteda za investicije u narednoj, uz povećanu ukupnu dobit.

Tabela 9.16. Poređenje stvarne dobiti i dobiti generisane CPLEX solverom za stvarnu potražnju u 2019. godini sa izlaznim rezultatima praznih sedišta i strukture flote

Mesec	Stvarna dobit (\$)	CPLEX dobit (\$)	Neisk. sedišta (CPLEX)	Angažovani brodovi (CPLEX)
Mart	7139.000	10261.000	336	b1, b3, b5, b11
April	35006.000	35540.000	688	b1, b2, b3, b5, b11
Maj	80868.000	87687.500	684	b1, b2, b3, b5, b11, b12
Jun	115047.000	128372.000	755	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12
Jul	122971.000	149834.000	732	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12
Avgust	131619.000	144841.000	828	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12
Septembar	119108.000	128670.500	1181	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12
Oktobar	59662.000	79910.000	687	b1, b2, b3, b5, b11, b12
Novembar	1652.000	2256.000	332	b5, b11
Ukupno	673072.000	767372.000	6223	b1, b2, b3, b4, b5, b11, b12

Za razliku od analize primera čiji su rezultati dati u tabelama 9.15 i 9.16, u tabelama 9.17 i 9.18 su prikazani predlozi za podršku odlučivanju operatoru prevoza (novi scenario) pri dimenzionisanju optimalne veličine flote brodova za zadovoljenje potražnje za prevozom putnika u 2018. i 2019. godini koji su dobijeni CPLEX solverom. Brodovi na raspolaganju za modeliranje su nosivih kapaciteta, redom, od 12, 24, 55 i 70 putnika. Za nabavku brodova kapaciteta 12, 24 i 70 putnika sa tržišta potrebno je da operator izdvoji 130000 \$, dok je procenjena vrednost prodaje brodova b2, b3 i b4 postojeće flote oko 200000\$ (u ovom slučaju bi operator zadržao brod b1 kapaciteta 55 putnika). Postoji ekonomska isplativost operatora da proda tri broda postojeće flote i da iste zameni novim brodovima manjeg prevoznog kapaciteta. Međutim, za detaljnu analizu isplativosti ulaganja finansijskih sredstava je potrebno uzeti u obzir i neizvesnost u visini potražnje za prevozom na godišnjem nivou i pripremiti se za mogućnost pojave ekonomske krize kao što je bila ona izazvana COVID-19 pandemijom gde su zabeleženi finansijski gubici

operatora prevoza u Bokotorskom zalivu od preko 1 milion \$ na godišnjem nivou u 2020. godini. Svakako da bi većina troškova održavanja i boravka na vezu nealociranog broda bila niža u situaciji da operator poseduje brodove manjeg prevoznog kapaciteta.

Tabela 9.17. Dimenzionisanje flote brodova za zadovoljenje potražnje u 2018. godini
dobijeno CPLEX solverom – novi scenario

Mesec	Angažovani brodovi prevoznih kapaciteta (broj brodova)			
	Mart	pax12 (3)	pax24 (1)	
April		pax24 (4)		
Maj			pax55 (3)	pax70 (1)
Jun			pax55 (4)	
Jul		pax24 (1)	pax55 (3)	
Avgust			pax55 (4)	
Septembar			pax55 (4)	
Oktobar		pax24 (3)	pax55 (1)	
Novembar	pax12 (1)			

U prvoj godini je predviđeno da budu angažovani brodovi kapaciteta od 12 putnika (obeleženo sa pax12) i to u martu (tri broda) i novembru mesecu (jedan brod). Brodovi kapaciteta od 24 putnika (obeleženo sa pax24) bi bili angažovani u martu (jedan), aprilu (četiri), julu (jedan) i oktobru (tri). Veći brodovi prevoznog kapaciteta od 55 putnika (obeleženo sa pax55) bi trebalo biti uposleni u maju (tri), junu (četiri), julu (tri), avgustu (četiri), septembru (četiri) i oktobru mesecu (jedan). Jedan brod kapaciteta od 70 putnika (obeleženo sa pax70) bi bio angažovan u maju mesecu, takođe. Moguća dobit ostvarena u ovoj godini je 995796 \$ za novi scenario, što je bolji ekonomski rezultat nego isti dobijen u tabeli 9.15. Sa druge strane, u 2019. godini je predviđeno da budu angažovani brodovi kapaciteta 12 putnika (pax12) i to u martu (četiri) i novembru mesecu (jedan brod). Brodovi kapaciteta 24 putnika (pax24) treba da budu angažovani u aprilu (dva), maju (jedan) i u oktobru (jedan). Brodovi prevoznog kapaciteta 55 putnika (pax55) bi

trebalo da budu angažovani u aprilu (dva), maju (tri), junu (tri), julu (dva), avgustu (dva), septembru (četiri) i oktobru (tri). Jedan brod kapaciteta 70 putnika (pax70) bi bio angažovan u junu mesecu, dok bi po dva ova broda bila uposlena u julu i avgustu. Ostvarena dobit novog scenarija u ovoj godini bi iznosila 1344025 \$.

Tabela 9.18. Dimenzionisanje flote brodova za zadovoljenje potražnje u 2019. godini
dobijeno CPLEX solverom – novi scenario

Mesec	Angažovani brodovi prevoznih kapaciteta (broj brodova)			
	Mart	pax12 (4)		
April		pax24 (2)	pax55 (2)	
Maj		pax24 (1)	pax55 (3)	
Jun			pax55 (3)	pax70 (1)
Jul			pax55 (2)	pax70 (2)
Avgust			pax55 (2)	pax70 (2)
Septembar			pax55 (4)	
Oktobar		pax24 (1)	pax55 (3)	
Novembar	pax12 (1)			

Kao što se može primetiti, u 2018. godini, kao i u 2019. godni je angažovano ukupno po 12 brodova različitih nosivih kapaciteta. Za operativno i taktičko planiranje operatora prevoza o veličini flote koja bi bila obezbeđena, rezultati ukazuju na prosek po tipu broda na nivou dvogodišnjeg perioda koji bi bio: četiri broda nosivog kapaciteta od 12 putnika, tri broda kapaciteta od 24 putnika, četiri broda od 55 putnika i dva broda kapaciteta po 70 putnika.

Posmatrajući prvi period (april i oktobar), drugi period (maj-septembar) i treći period (mart i novembar), u tabeli 9.19 dat je sumarni prikaz angažovanih brodova za obe godine. Kao što se može primetiti, u 2018. godini, kao i u 2019. godni je alocirano ukupno po 12 brodova različitih nosivih kapaciteta.

Tabela 9.19. Prikaz uposlenih brodova po periodima – novi scenario

	Raspodela brodova			
2018	pax12	pax24	pax55	pax70
April i oktobar		4	1	
Maj-septembar		1	4	1
Mart i novembar	3	1		
Ukupan broj brodova	3	4	4	1
2019	pax12	pax24	pax55	pax70
April i oktobar		2	3	
Maj-septembar		1	4	2
Mart i novembar	4			
Ukupan broj brodova	4	2	4	2

Upoređujući broj neiskorišćenih sedišta između stvarnog primera i predloženih rešenja dobijenih CPLEX solverom, u tabeli 9.20 je prikazan odnos i procenat neiskorišćenih sedišta flote koja je bila angažovana u 2018. godini.

Primećuje se da je preko 50% bilo neiskorišćenih sedišta na brodovima koji su stvarno bili angažovani za prevoz putnika. Sa druge strane, rešenja dobijena CPLEX solverom ukazuju na višak sedišta novouposlone flote od 20.63%. Čak poslednji rezultat ukazuje da se povećana potražnja putnika u 2019. godini od 18.66% u odnosu na 2018. godinu može zadovoljiti postojećim kapacitetima brodova i ukupnom broju ponuđenih sedišta za prevoz iz 2018. godine.

U tabeli 9.21 su dati izlazni rezultati za broj neiskorišćenih sedišta u 2019. godini. Ovde se takođe uočava da je modeliranjem dobijen znatno niži broj neiskorišćenih sedišta, pri čemu je zadovoljena zahtevana potražnja za prevozom putnika na četiri plovidbene linije, a ostvarena i veća dobit sa predloženom novom strukturom flote.

Tabela 9.20. Komparacija rezultata stvarnog primera i novog scenarija za 2018. godinu

Mesec	Stvarni primer		CPLEX rezultat	
	Neiskorišćena sedišta	% neiskorišćenih sedišta	Neiskorišćena sedišta	% neiskorišćenih sedišta
Mart	2310	176.65	281	25.18
April	5555	93.49	633	18.07
Maj	10510	60.14	1124	14.62
Jun	12035	48.23	3541	30.37
Jul	13440	40.15	1522	13.70
Avgust	13525	33.65	2750	21.37
Septembar	12434	38.59	2633	22.69
Oktobar	8398	64.18	1054	17.09
Novembar	1540	134.40	195	22.89
Ukupno	79747	50.92	13733	20.63

Tabela 9.21. Komparacija rezultata stvarnog primera i novog scenarija za 2019. godinu

Mesec	Stvarni primer		CPLEX rezultat	
	Neiskorišćena sedišta	% neiskorišćenih sedišta	Neiskorišćena sedišta	% neiskorišćenih sedišta
Mart	2145	135.97	207	18.55
April	6340	68.13	898	19.23
Maj	10755	40.55	990	11.46
Jun	14040	33.45	1954	15.66
Jul	15315	32.95	2171	15.86
Avgust	16310	35.76	2256	15.81
Septembar	14080	36.41	2768	21.15
Oktobar	8155	42.12	1068	15.69
Novembar	379	48.05	56	17.95
Ukupno	87519	39.58	12368	16.48

Kako su ovde razmatrani scenariji za dve godine, oni u potpunosti ne mogu da opišu neizvesnost potražnje za prevozom putnika, ali svakako predstavljaju početno istraživanje koje bi nakon višegodišnjeg praćenja prometa putnika na plovidbenim linijama bilo uslov za novo istraživanje i analizu vremenskih serija i na taj način omogućilo sigurniju prognozu i donošenje odluka operatora prevoza o dimenziji angažovane flote na kratkoročnom i srednjeročnom nivou.

10. ZAKLJUČAK

U ovoj doktorskoj disertaciji razmatra se mogućnost uvođenja redovnog putničkog pomorskog trajektnog prevoza na lokalnom i regionalnom nivou kroz ekonomsku opravdanost projekta i optimalno dimenzionisanje veličine flote brodova koja bi prevozila putnike na plovidbenim linijama u posmatranom vremenskom periodu. U prilog razvoju pomorskog trajektnog putničkog servisa ide i činjenica da njegova važnost dolazi do izražaja u nedostatku alternativnog vida prevoza, kada se ovaj prevoz koristi kao jedina mogućnost za povezivanje ostrva sa kontinentalnim lokacijama, dok se u ostalim slučajevima integriše kao podsistem urbanog javnog prevoza grada ili regionalnih priobalnih područja. Međutim, veliku ulogu za razvoj ovog sistema prevoza igraju lokalne vlasti i Vladine institucije koje treba da prepoznaju potencijal i podrže uvođenje redovnog putničkog trajektnog servisa.

Disertacija je organizovana u tri međusobno povezane celine. Prvi deo se odnosi na teorijski pristup razvoju trajektnog prevoza putnika od najranijih početaka izgradnje višenamenskih brodova koji su u prvom redu prevozili putnike i teret, preko savremene flote sa osnovnim tehničkim karakteristikama, uspostavljanju redovnih trajektnih linija i istraživanju lokalnog i regionalnog značaja ovog oblika servisa za ekonomije država. Ovoj celini pripada i tehno-ekonomski pristup uvođenja redovnog trajektnog putničkog servisa koji opravdava isplativost ulaganja operatora prevoza ili brodarske kompanije u trajektnu flotu. Pored toga, data su različita rešenja za uvođenje ove vrste pomorskog prevoza, kroz dimenzionisanje raspoložive flote brodova za operatora prevoza, nivoa investicionog ulaganja i isplativost projekta njegovog uvođenja, kao i teorijski osvrt na razne modele subvencioniranja sličnih projekata uključujući konceptualni model pozicioniranja operatora za trajektni prevoz.

Drugi deo disertacije obuhvata definisanje modela za procenu navigacionog rizika i modela za proračun emisije izduvnih gasova sa brodova u putničkim lukama koji daju dodatni doprinos održivosti trajektnog servisa za prevoz putnika, posmatrajući ga s aspekta sigurnosti i bezbednosti plovidbe i poštovanja ekoloških standarda u očuvanju morske sredine priobalnog područja. Kod procene navigacionog rizika u prevozu putnika

polazi se od višestruke ocene ekspertskeg tima i verovatnoće pojavljivanja rizičnog događaja, dok je u cilju ostvarenja ekološke održivosti sistema predstavljen postupak kvantifikacije nivoa emisije izduvnih gasova četiri jedinjenja (azotnih oksida - NO_x , sumpor dioksida – SO_2 , finih čestica - PM i ugljen monoksida - CO), koja nastaje kao rezultat eksploatacije i angažovanja brodova na plovodbenim linijama. Kod oba modela je ostavljena mogućnost unapređenja istih što će poslužiti za definisanje daljih pravaca istraživanja lokalnog i regionalnog trajektnog prevoza putnika.

Glavni predmet istraživanja koji čini treću celinu disertacije je usmeren ka razvoju matematičkog MILP modela za ostvarenje ekonomske dobiti, uz određivanje optimalnog odnosa između potražnje putnika za prevozom i dimenzionisanja flote brodova trajektnog servisa i njihovog raspoređivanja na plovodbenim linijama. Model rešava determinističke probleme potražnje za prevozom putnika, dok se može primeniti i na stohastičke aspekte koji impliciraju neizvesnost transportnih zahteva nastalih usled varijacija u potražnji za prevozom izazvane sezonskim efektima ili nekim drugim eksternim situacijama koje se mogu desiti. Formulacija modela uključuje i dodeljivanje brodova plovodbenim linijama za meštane (redovne linije) i turiste (izletničke linije), kao i korišćenje raspoložive flote uz mogućnost investiranja u kupovinu i unajmljivanje dodatnih prevoznih kapaciteta. Model računa minimalni broj neiskorišćenih sedišta i slobodnog vremena kada brodovi ne obavljaju prevoz, tako da maksimizira nivo iskorišćenosti njihovih prevoznih kapaciteta.

Sa druge strane, celokupan pristup rešavanju optimizacionog problema uključuje, i po prvi put, primenu tri hibridne heurističke metode, tzv. matheuristike (metoda grananja kroz promenljive okoline – skraćeno: VNB; metoda promenljivih okolina sa dekompozicijom za 0-1 MIP – skraćeno: VNDS 0-1 MIP; i metoda pretrage okolina promenljivog intenziteta – skraćeno: VINS) na primeru pomorskog trajektnog prevoza putnika, što predstavlja i dodatnu vrednost samog istraživanja i poseban doprinos disertacije. Za optimizaciju koristio se CPLEX egzaktni solver, uz pomoć kojeg su dobijena optimalna rešenja koja odgovaraju maksimum vrednosti funkcije cilja – dobiti operatora prevoza, minimalnom nivou neiskorišćenih sedišta na dodeljenim brodovima i minimalnom slobodnom vremenu kada brodovi nisu bili uposleni. Kod nekih primera,

CPLEX solver nije uspeo da dobije optimalno rešenje, tako da su za predloženo modeliranje upotrebljeni heuristički algoritmi za anticipiranje problema velike dimenzije i dekompoziciju vremenskih intervala – podhorizontata u cilju dobijanja skoro optimalnog rešenja. Studija slučaja i analiza testiranih primera je ukazala da matematički model zajedno sa hibridnim heuristikama može biti primenjen za primere većih dimenzija obezbeđujući ravnotežu između potražnje za prevozom putnika i ponude prevoznih kapaciteta brodova. Na ovaj način se stvorila dobra praksa primene matheurističkih metoda, a naročito je istaknuta superiornost VINS metode, što predstavlja još jedan značajan doprinos u literaturi iz optimizacije transportnih problema.

U ovoj disertaciji su potvrđene sledeće hipoteze:

- Na osnovu realnih primera na lokalnom i regionalnom nivou u kojima postoji sezonski prevoz putnika (turista), konstatovano je, u cilju smanjenja opterećenja drumskih saobraćajnica, da postoji objektivna potreba za podizanjem opšteg nivoa pružanja kvalitetne transportne usluge kroz prevoz ljudi morskim putem. Time je ukazano na opravdanost investicionog ulaganja u projekat stvaranja redovnog prevoza putnika ili unapređenja postojećeg.
- Predloženi i primenjeni MILP model optimalno dimenzioniše flotu brodova pomorskog trajektnog prevoza, pri čemu se ističe njegova integracija koja podrazumeva optimalno raspoređivanje brodova duž plovidbenih linija i u skladu sa nivoom potražnje za prevozom koja se ostvaruje od strane meštana i turista.
- Kroz predloženu formulaciju modela i definisani pristup, omogućava se donošenje optimalnih odluka brodskih kompanija (operatora prevoza) u pogledu raspoređivanja brodova na trajektne linije u posmatranom vremenskom periodu i ostvarenja maksimalne dobiti. Kroz primenjenu metodologiju u doktorskom radu, moguće je operativno unaprediti postojeće strategije prevoza meštana i turista morskim putem.
- Pored postavke determinističkog problema modeliranja optimalnog dimenzionisanja trajektne flote brodova, u radu je razmatran i dinamički element sezonske potražnje za prevoz turista, pri čemu se ističe i stohastička komponenta

posmatrana kao intervalna procena potražnje za prevozom u posmatranom periodu.

- Sveobuhvatnost sistema trajektnog prevoza putnika je potvrđena dobijenim rezultatima raznih numeričkih primera raspoređivanja brodova, dimenzionisanja flote brodova i minimizovanja broja neiskorišćenih prevoznih kapaciteta (sedišta) brodova za trajektni prevoz putnika.

U slučaju neodgovarajućeg dimenzionisanja raspoložive flote brodova za redovni ili izletnički prevoz putnika, dolazi do pojave neiskorišćenih transportnih potencijala koji dovode do gubitaka u poslovanju brodarskih kompanija. Prilog optimizaciji dimenzionisanja flote brodova u ovom istraživanju predstavlja analiza osetljivosti na promenu nivoa transportnih zahteva za prevozom dobijena primenom statističkih metoda za ocenu intervala poverenja srednje vrednosti potražnje koju odlikuju određeni stepen neravnomernosti naročito za sezonski prevoz turista i koja je testirana na praktičnim primerima. Rezultati koje je generisao CPLEX solver su ukazali da je u strateškom smislu potrebno da se operatori prevoza udruže u jedinstvenu kompaniju koja bi, raspolazući većom i heterogenom strukturom flote brodova manjeg prevoznog kapaciteta, ostvarila i veću dobit.

Na osnovu sprovedenih rezultata, izvode se sledeći doprinosi i zaključci:

- Istraživanje obavljeno u ovoj disertaciji karakteriše dvojak značaj – teorijski i praktični. Prvi se ogleda u tome da je u oblasti trajektnog prevoza putnika po prvi put u dosadašnjoj literaturi predložen sveobuhvatan model koji uzima u obzir prevoz dve vrste putnika – meštana i turista. Predložena algoritamska struktura matematičkog modela takođe pored raspoložive flote brodova uključuje i mogućnost obezbeđenja dodatnih prevoznih kapaciteta flote kroz proces kupovine i unajmljivanja brodova, ujedno omogućavajući povećanje dobiti operatora prevoza. Koncept modela može biti primenjiv na slične probleme kroz prilagođavanje funkcije cilja i ograničenja. Kada je u pitanju praktični značaj disertacije, on se ogleda u primenjivosti modela, dobijenih rezultata i analiza, bilo da je reč o lokalnom transportu ili regionalnom prevozu putnika morskim putem,

jer obezbeđuje ekonomičnije poslovanje brodarske kompanije i optimalno dimenzionisanje i raspoređivanje flote brodova.

- Razvoj originalnog metodološkog okvira za uspostavljanje redovnog trajektnog prevoza i reorganizacija izletničkog servisa u cilju zadovoljenja potreba stanovništva i obezbeđenje turističkih sadržaja unaprediće poziciju priobalnog područja ili regiona kada je u pitanju održivost pomorskih veza i razvoj obalnog transporta. Dakle, utvrđena je metodologija za ostvarenje ekonomske profitabilnosti jedne brodarske kompanije.
- Analiza navigacionog rizika i kvantifikacija emisije izduvnih gasova sa brodova predstavlja dodatni doprinos u očuvanju održivih pomorskih veza. Osvrt na ove probleme je opravdan naročito kada je u planu uspostavljanje putničkog trajektnog servisa i kada se povećavaju operativne pomorske aktivnosti u lučkom akvatorijumu usled povećanja prometa brodova i putnika.
- Uključivanje matheurističkih metoda za rešavanje problema većih dimenzija optimalnog dimenzionisanja flote za trajektni prevoz putnika.
- Saradnja sa lokalnom samoupravom, Vladinim institucijama i regionalnim kompanijama koja može dovesti do formiranja finansijske podrške u vidu subvencija u razvoju ovakve vrste projekata i stvaranja navika meštana da koriste trajektni servis kao alternativni vid prevoza.

Buduća istraživanja iz ove oblasti mogu biti usmerena ka složenijoj stohastičkoj analizi parametra potražnje za prevozom putnika, naročito kada se posmatraju turisti kao eksterni korisnici servisa. Takođe, dodatna aplikativnost matheurističkih pristupa se može usmeriti ka dobijanju kvalitetnijih, skoro optimalnih, rešenja koja odgovaraju velikim vrednostima dobiti brodarske kompanije uz kraće vreme izvršavanja algoritama, kao što razni adaptivni pristupi iz literature mogu biti predmet budućih istraživanja alokacije i dimenzionisanja brodova za trajektni prevoz putnika. Konačno, strateška rešenja u radu brodarskih kompanija ili operatora prevoza mogu biti unapređena uz primenu predloženog koncepta istraživanja u ovoj disertaciji i kod donošenja odluka u cilju postizanja pozitivnih ekonomskih rezultata u trajektnom prevozu putnika na lokalnom i regionalnom nivou.

LITERATURA

- Agencija za obalni linijski pomorski promet - AOLPP (2012-2017). Promet putnika i vozila na državnim linijama, Godišnji izveštaji.
- AIS Vessel Tracking – AIS Positions Maps, AIS Marine Traffic. (2016), www.marinetraffic.com
- An, K., Lo H.K. (2014). Ferry service network design with stochastic demand under use equilibrium flows. *Transportation Research Part B*, 66, 70-89.
- Andersson, H., Fagerholt, K., Hobbesland, K. (2015). Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping. *Computers & Operations Research*, 55, 23-240.
- Annex VI of MARPOL 73/78 - Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships (1997), International Maritime Organization.
- Archetti, C., Speranza, M.G. (2014). A survey on matheuristics for routing problems. *EURO Journal on Computational Optimization*, 2(4), 223-246.
- Auckland Transport (2014). *Ferry development plan*, Regional Public Transport Plan (RPTP), New Zeland, <https://www.greeterauckland.org.nz/>.
- Baird, A.J. (1997a). An investigation into the suitability of an enclosed seaport for cruise ships the case of Leith. *Maritime Policy & Management*, 24(1), 31-43.
- Baird, A. (1997b). A Scottish east coast European ferry service: review of the issue. *Journal of Transport Geography*, 5(4), 291-302.
- Baird, A.J. (2001). State Subsidy System for Remote Island Liner Services in Japan. *International Journal of Maritime Economics*, 3, 102-120.
- Baird, A. (2012). Comparing the efficiency of public and private ferry services on the Pentland Firth between mainland Scotland and the Orkney Islands. *Research in Transportation Business & Management*, 4, 79-89.
- Baird, A. J., Wilmsmeier, G. (2011). Public tendering of ferry services in Europe. *European Transport*, 49, 90-111.

- Baird, A., Pedersen, R.N. (2013). Analysis of CO₂ emissions for island ferry services. *Journal of Transport Geography*, 32, 77-85.
- Bakkehaug, R., Eidem, E.S., Fagerholt, K., Hvattum, L.M. (2014). A stochastic programming formulation for strategic fleet renewal in shipping. *Transportation Research Part E*, 72, 60-76.
- BALance Technology Consulting GmbH - BALance (2015). Competitive position and future opportunities of the European marine supplies industry, in cooperation with Shipyard Economics Ltd and MC Marketing Consulting, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/df9d2276-cb29-4c6d-84a7-e454922e8297>.
- Banos, J.F., Valdes, L., del Valle, E., & Zapico, E. (2018). Economic importance of the motorways of the sea for tourism: The experience of the route Nantes-Gijon. *Maritime Economics & Logistics*, 20(2), 300-320.
- Benford, H. (1981). A simple approach to fleet deployment. *Maritime Policy and Management*, 8, 223-228.
- Berechman, J., Tseng, P.H. (2012). Estimating the environmental costs of port related emissions: the case of Kaohsiung. *Transportation Research Part D*, 17, 35–38.
- Brambilla, M., Martino, A.: TRT Trasporti e Territorio (2016). Research for TRAN Committee - The EU Maritime Transport System: Focus on Ferries, Directorate General for Internal Policies, Policy Department B: Structural and Cohesion Policies, Transport and Tourism, European Parliament's Committee on Transport and Tourism, European Union.
- Braysy, O., Porkka, P.P., Dullaert, W., Repoussis, P.P., Tarantilis, C.D. (2009). A well-scalable metaheuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. *Expert Systems with Applications*, 36, 8460-8475.
- Buck Consultants International (2014). Improving the concept of ‘Motorways of the Sea’, Document was commissioned by the European Parliament’s Committee on Transport and Tourism, European Parliament.
- California Air Resources Board – CARB. (2004). Emissions Estimation Methodology for Commercial Harbor Craft Operating in California. Appendix B Report, str. 35.

- Castells Sanabra, M., Usabiaga Santamaria, J.J., Martínez De Osés, F.X. (2014). Maneuvering and hoteling external costs: enough for alternative energy sources? *Maritime Policy & Management*, 41, 42–60.
- Castillo-Manzano, J.I., Fageda, X., Gonzalez-Laxe, F. (2014). An analysis of the determinants of cruise traffic: An empirical application to the Spanish port system. *Transportation Research Part E*, 66, 115-125.
- Ceder, A., Sarvi, M. (2007). Design and Evaluation of Passenger Ferry Routes. *Journal of Public Transportation*, 10(1), 59-79.
- Ceder, A., Varghese, J. (2011). Analysis of Passenger-Ferry Routes Using Connectivity Measures. *Journal of Public Transportation*, 14(1), 29-55.
- Chang, C.C., Wang, C.M. (2012). Evaluating the effects of green port policy: case study of Kaohsiung harbor in Taiwan. *Transportation Research Part D*, 17, 185–189.
- Chang, Y.T., Song, Y., Roh, Y. (2013). Assessing greenhouse gas emissions from port vessel operations at the Port of Incheon. *Transportation Research Part D*, 25, 1–4.
- Chlomoudis, C.I., Pallis, P.L., Papadimitriou, S., Tzannatos, E.S. (2007). The liberalisation of maritime transport and the island regions in EU. Evidence from Greece. *European Transport*, 37, 1-15.
- Cho, S-C., Perakis, A.N. (1996). Optimal liner fleet routeing strategies. *Maritime Policy & Management*, 23(3), 249–259.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D. (2013). Ship routing and scheduling in the new millennium. *European Journal of Operational Research*, 228, 467-483.
- Ciscoconsultant (2013). Bruxelles chiede restituzione sussidi a SNCM, <http://ciscoconsultant.it/2013/05/06/bruxelles-chiede-restituzione-sussidi-a-sncm/>.
- Commission of the European Communities (2001). White Paper, European transport policy for 2010: time to decide. Brussels: CEC, https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/-strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf.
- Cooper, D.A., Andreasson, K. (1999). Predictive NO_x emission monitoring on board a passenger ferry. *Atmospheric Environment*, 33, 4637-4650.

- Cooper, D.A. (2001). Exhaust emissions from high speed passenger ferries. *Atmospheric Environment*, 35, 4189-4200.
- Cooper, D.A. (2003). Exhaust emissions from ships at berth. *Atmospheric Environment*, 37, 3817-3830.
- Cooper, D., Gustafsson, T. (2004). Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors. Swedish Methodology for Environmental Data, Report series SMED and SMED&SLU 4/2004, str. 47.
- Corbett, J.J., Farrell, A. (2002). Mitigating air pollution impacts of passenger ferries. *Transportation Research Part D*, 7, 197-211.
- Corbett, J.J., Koehler, H.W. (2003). Updated emissions from ocean shipping. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 108(D20), 901-915.
- Cottam, H., Roe, M., Challacombe, J. (2007). The Impact of Transitional Changes of Maritime Passenger Transport on Croatian Tourism Development. *Maritime Policy & Management*, 34(3), 185-202.
- CPLEX (2015).
https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.6.3/ilog.odms.studio.help/pdf/usrcplex.pdf.
- Dalsoren, S.B., Endresen, O., Isaksen, I.S.A., Gravir, G., Sorgard, E. (2007). Environmental impacts of the expected increase in sea transportation, with a particular focus on oil and gas scenarios for Norway and northwest Russia. *Journal of Geophysical Research*, 112(D02310), 1-30.
- Darzentas, J., Spyrou, T. (1996). Ferry Traffic in the Aegean Islands: A Simulation Study. *The Journal of the Operational Research Society*, 47(2), 203-216.
- Davidović, T., Matijević, L. (2020). Matheuristics Based on Variable Neighborhood Search, Proc. XLVII Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2020, Virtual conference, Sept. 20-23, 2020, str. 500-505.
- De Meyer, P., Maes, F., Volckaert, A. (2008). Emissions from international shipping in the Belgian part of the North Sea and the Belgian seaports. *Atmospheric Environment*, 42, 196–206.

- Debnath, A.K., Chin, H.C. (2010). Navigational traffic conflict technique: A proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters. *The Journal of Navigation*, 63(1), 137-152.
- Deniz, C., Kilic, A., Civkaroglu, G. (2010). Estimation of shipping emissions in Candarli Gulf, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 171, 219–228.
- Deniz, C., Kilic, A. (2010). Estimation and assessment of shipping emissions in the region of Ambarli Port, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29, 107–115.
- Directive 2012/33/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 (2012) amending Council Directive 1999/32/EC as regards the sulphur content of marine fuels, Official Journal of the European Union, L 327/1.
- Dong, J-X., Song, D-P. (2009). Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. *Transportation Research Part E*, 45, 860-877.
- Dragović, B., Škurić, M., Kofjač, D. (2014). A proposed simulation based operational policy for cruise ships in the Port of Kotor. *Maritime Policy & Management*, 41(6), 560–588.
- Dragović, B., Tzannatos, E., Tselentis, V., Meštrović, R., Škurić, M. (2018). Ship emissions and their externalities in cruise ports. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61(B), 289-300.
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 1.A.3.d.i, 1.A.3.d.ii, 1.A.4.c.iii (2013). International navigation, national navigation, national fishing. EEA Technical report 12/2013, str. 40.
- Endresen, O., Sorgard, E., Sundet, J.K., Dalsoren, S.B., Isaksen, I.S.A., Berglen, T.F., Gravir, G. (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research*, 108(4560), doi:10.1029/2002JD002898
- Endresen, Ø., Sorgard, E., Behrens, H. L., Brett, P. O., and Isaksen, I. S. (2007). A historical reconstruction of ships' fuel consumption and emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D12), 1-17.

- ENTEC (2002). European Commission, Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community. Chapters 2 & 3, Quantification of ship emissions. UK Limited, str. 21.
- Ercoli S., Ratti A. and Piardi S. (2014). Water-based Public Transport Accessibility. A Case Study in the Internal Waters of Northern Italy. Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, Kraków, Poland 19-23 July 2014, 4996-5006, Edited by T. Ahram, W. Karwowski and T. Marek.
- Expediio, Blue Coach (2013). Studija izvodljivosti za uspostavljenje održivog, pomorskog, javnog transporta solarnim katamaranima u Boki Kotorskoj, BAS Program Evropske banke za obnovu i razvoj (EBRD), MONTE MARINE YACHTING (MMY).
- European Commission (2011). Commission Staff Working Document - Accompanying the White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, Brussels, 28.3.2011 SEC(2011) 391 final.
- European Commission (2013). Regulation 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU, Official Journal of the European Union, 20.12.2013.
- European Parliament (2016). Research for TRAN Committee - The EU Maritime Transport System: Focus on Ferries. Brussels: EP, http://www.trt.it/wp/wp-content/uploads/2016/11/IPOL_STU2016573423_EN.pdf.
- Eurostat (2015). Maritime ports freight and passenger statistics, Statistics Explained.
- Eurostat (2021). Maritime passenger statistics. Country level - passengers (excluding cruise passengers) transported to/from main ports, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/mar_mp_am_cft/default/table?lang=en.
- Eyring, V., Isaksen, S.A.I., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S. (2020). Transport

- impacts on atmosphere and climate: Shipping. *Atmospheric Environment*, 44, 4735-4771.
- Fagerholt, K. (1999). Optimal fleet design in a ship routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 6, 453-464.
- Farrell, A.E., Corbett, J.J., Winebrake, J.J. (2002). Controlling air pollution from passenger ferries: Cost-effectiveness of seven technological options. *Journal of Air and Waste Management Association*, 52(12), 1399-1410.
- Farrell, A.E., Redman, D.H., Corbett, J.J., Winebrake, J.J. (2003). Comparing air pollution from ferry and landside commuting. *Transportation Research Part D*, 8, 343–360.
- Federal Transit Administration (2003). Transit Capacity and Quality of Service Manual—2nd Edition, Part 6 – Ferry Capacity. Washington D.C.: FTA, <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/docs-/tcrp100/Part0.pdf>.
- Findley, D.J, Anderson, T.J., Bert, S.A., Nye, T., & Letchworth, W. (2018). Evaluation of wait times and queue lengths at ferry terminals. *Research in Transportation Economics*, <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.06.009>.
- Fischetti, M., Lodi, A. (2003). Local branching. *Mathematical Programming*, 98(2), 23–47.
- Fowler, T.G., Sorgard, E. (2000). Modeling ship transportation risk. *Risk Analysis*, 20(2), 225-244.
- Fujii, Y., Tanaka, K. (1971). Traffic Capacity. *The Journal of Navigation. Cambridge: Cambridge Journals*, 24, 543-552.
- Fujii, Y., Yamanouchi, H., Mizuki, N. (1974). Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic. *Journal of Navigation*, 27, 235-252.
- Gelareh, S., Meng, Q. (2010). A novel modeling approach for the fleet deployment problem within a short-term planning horizon. *Transportation Research Part E*, 46, 76–89.
- Gelareh, S., Pisinger, D. (2011). Fleet deployment, network design and hub location of liner shipping companies. *Transportation Research Part E*, 47, 947–964.

- George, D.K., Xia, C.H. (2011). Fleet-sizing and service availability for a vehicle rental system via closed queueing networks. *European Journal of Operational Research*, 211, 198-207.
- Gluver, H., Olsen, D. (1998). Current practice in risk analysis of ship collisions to bridges. Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis, Copenhagen, Denmark, 10–13 May 1998, 85–96, Edited by H. Gluver and D. Olsen.
- Grant Thornton UK LLP, (2010). Small Ferries Project-Outline Business Case, <https://www.yumpu.com/en/document/read/36967721/small-ferries-project-outline-business-case>
- Gratsos, G.A. (2014). Greek Shipping and the Maritime Economy, Presentation at E.U. CCMI Seminar on Maritime Industrial Sectors, Athens, May 12th, 2014.
- Guastaroba, G., Savelsbergh, M., Speranza, M.G. (2017). Adaptive Kernel Search: A heuristic for solving Mixed Integer linear Programs. *European Journal of Operational Research*, 263(3), 789-804.
- Hanafi, S., Todosijević, R. (2017). Mathematical programming based heuristics for the 0–1 MIP: a survey. *Journal of Heuristics*, 23(4), 165-206.
- Hansen, P., Mladenović, N., Perez-Britos, D. (2001). Variable Neighborhood Decomposition Search. *Journal of Heuristics*, 7(4), 335-350.
- Hansen, P., Mladenović, N., Urošević, D. (2006). Variable neighborhood search and local branching. *Computers & Operations Research*, 33(10), 3034–3045.
- Hansen, P., Mladenović, N., Moreno Pérez, J. A. (2010). Variable neighbourhood search: methods and applications. *Annals of Operations Research*, 175(1), 367-407.
- Hansen, P., Mladenović, N., Todosijević, R., Hanafi, S. (2017). Variable neighborhood search: basics and variants. *EURO Journal on Computational Optimization*, 5(3), 423-454.
- Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J., Moreno Pérez, J.A. (2018). Variable Neighborhood Search. *Handbook of Metaheuristics*, International Series in Operations Research & Management Science 272, Chapter 3, 57-97.
- Hernández Luis, J.A. (2004). The role of inter-island air transport in the Canary Islands. *Journal of Transport Geography*, 12, 235-244.

- Hersh, M., Ladany, S.P. (1989). Optimal scheduling of ocean cruises. *Information Systems and Operational Research*, 27(1), 48-57.
- Hirst, N. (2014). Court rules against France in Corsica ferries case - European Court of Justice dismisses appeals by France and troubled ferry company SNCM, Politico, <https://www.politico.eu/article/court-rules-against-france-in-corsica-ferries-case/>.
- Hoff, A., Andersson, H., Christiansen, M., Hasle, G., Lokketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*, 37, 2041-2061.
- Hrle, Z., Pjevčević, D., Radonjić, A. (2006). *Sistemi elektronske navigacije u vodnom saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Hrle, Z., Radonjić, A., Pjevčević, D. (2007). *Primena sistema elektronske navigacije u vodnom saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- <http://www.euro-agent.com/hrvatska/morem/sea.htm>
- <https://www.marinetraffic.com>
- <http://www.seaboats.net>
- Hu, Q., Yong, J., Shi, C., Chen, G. (2010). Evaluation of main traffic congestion degree for restricted waters with AIS reports. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 4(1), 55-58.
- Hulskotte, J.H.J., Denier van der Gon, H.A.C. (2010). Fuel consumption and associated emissions from seagoing ships at berth derived from an on-board survey. *Atmospheric Environment*, 44, 1229–1236.
- ICF International (2009). Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories. Prepared for the USEPA Office of Policy, Economics, and Innovation. Sector Strategies Program April 2009, str. 116.
- International Maritime Organization - IMO (1997). Guidelines for vessel traffic services. Resolution A.857(20).
- Jabali, O., Gendreau, M., Laporte, G. (2012). A continuous approximation model for the fleet composition problem. *Transportation Research Part B*, 46, 1591-1606.
- Jansson, J.O., Shneerson, D. (1987). *Liner Shipping Economics*. Chapman and Hall, London, New York.

- Jaramillo, D.I., Perakis, A.N. (1991). Fleet deployment optimization for liner shipping Part 2. Implementation and results. *Maritime Policy & Management*, 18(4), 235–262.
- Jorgensen, F., Pedersen, H, Solvoll, G. (2004). Ramsey pricing in practice: the case of the Norwegian ferries. *Transport Policy*, 11(3), 205-214.
- Jorgensen, F., Mathisen, T.A., Larsen, B. (2011). Evaluating transport user benefits and social surplus in a transport market - The case of the Norwegian ferries. *Transport Policy*, 18(1), 76-84.
- Jovanović, P., Davidović, T., Lazić, J., Mitrović Minić, S. (2015). The Variable Intensity Neighborhood Search for 0-1 MIP, In: N. Mladenović, D. Urošević and Z. Stanimirović (eds.), Proceedings of the 42nd Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2015; September 15-18, Silver Lake Resort, Serbia, 229-232.
- Kang, S., Medina, J.C., Ouyang, Y. (2008). Optimal operations of transportation fleet for unloading activities at container ports. *Transportation Research Part B*, 42, 970–984.
- Karapetyan, D., Punnen, A.P. (2013). A reduced integer programming model for the ferry scheduling problem. *Public Transport*, 4(3), 151-163.
- Karapetyan, D., Punnen, A.P. (2014). An Integer Programming Model for the Ferry Scheduling Problem. In: Murty, K.G. (Ed.) *Case Studies in Operations Research* (str. 513-533), Chapter 22. New York: Springer.
- Khazabi, M. (2017). International models of ferry service delivery. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 9(3), 137-149.
- Kilby, P., Urli, T. (2016). Fleet design optimisation from historical data using constraint programming and large neighbourhood search. *Constraints*, 21(1), 2-21.
- Klosterhalfen, S.T., Kallrath, J., Fischer, G. (2014). Rail car fleet design: Optimization of structure and size. *International Journal of Production Economics*, 157, 112-119.
- Koc, C., Bektas, T., Jabali, O., Laporte, G. (2014). The fleet size and mix pollution-routing problem. *Transportation Research Part B*, 70, 239-254.
- Koc, C., Bektas, T., Jabali, O., Laporte, G. (2016). The fleet size and mix location-routing problem with time windows: Formulations and a heuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 248, 33-51.

- Kofjač, D., Škurić, M., Dragović, B., Škraba, A. (2013). Traffic modelling and performance evaluation in Cruise Port of Kotor. *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, 59(9), 526–535.
- Konings, R., Kreutzberger, E., Maraš, V. (2013). Major considerations in developing a hub-and-spoke network to improve the cost performance of container barge transport in the hinterland: the case of the port of Rotterdam. *Journal of Transport Geography*, 29, 63-73.
- Koo, P-H., Lee, W-S., Jang, D-W. (2004). Fleet sizing and vehicle routing for container transportation in a static environment. *OR Spectrum*, 26(2), 193-209.
- La Gomera Island (2013). Ferries Canaries '13: More Rumours, Rumbblings, Runs, https://lagomera1.blogspot.com/2013/10/ferries-more-rumours-and-rumbblings_19.html.
- Laderman, J., Gleiberman, L., Egan, J.F. (1966). Vessel allocation by linear programming. *Naval Research Logistics*, 13(3), 315-320.
- Lai, M.F., Lo, H.K. (2004). Ferry service network design: optimal fleet size, routing, and scheduling. *Transportation Research Part A*, 38, 305-328.
- Laird, J. J. (2012). Valuing the quality of strategic ferry services to remote communities. *Research in Transportation Business & Management*, 4, 97–103.
- Lazić, J., Hanafi, S., Mladenović, N., Urošević, D. (2010). Variable neighbourhood decomposition search for 0–1 mixed integer programs. *Computers & Operations Research*, 37(6), 1055–1067.
- Letafat, A., Rafiei, M., Ardeshiri, M., Sheikh, M., Banaei, M., Boudjadar, J., Khooban, M.H. (2020). An Efficient and Cost-Effective Power Scheduling in Zero-Emission Ferry Ships. *Complexity*, 1-12, doi: 10.1155/2020/6487873.
- Li, S., Meng, Q., Qu, X. (2012). An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. *Risk Analysis*, 32(3), 496-512.
- Lin, D.Y., Tsai, Y.Y. (2014). The ship routing and freight assignment problem for daily frequency operation of maritime liner shipping. *Transportation Research Part E*, 67, 52–70.

- Lo, H.K., An, K., Lin, W-H. (2013). Ferry service network design under demand uncertainty. *Transportation Research Part E*, 59, 48-70.
- Lovrić, M. (2008). *Osnovi statistike*, Ekonomski Fakultet, Kragujevac, Univerzitet u Kragujevcu.
- Loxton, R., Lin, Q., Teo, K.L. (2012). A stochastic fleet composition problem. *Computers & Operations Research*, 39, 3177–3184.
- Luka Kotor AD (2015). Luka Kotor AD. Izvještaji o poslovanju za 2015, Kotor. <http://portofkotor.co.me/O-luci/statisticki-podaci.html>.
- Luka Kotor AD. (2020). Luka Kotor AD, Izvještaji o poslovanju 2020, Kotor.
- Lupi, M., Farina, A., Orsi, D., Pratelli, A. (2017). The capability of Motorways of the Sea of being competitive against road transport. The case of the Italian mainland and Sicily. *Journal of Transport Geography*, 58, 9-21.
- MacDuff, T. (1974). The probability of vessel collisions. *Ocean Industry*, 144–148.
- Malachy Walsh and Partners *In association with* Posford Haskoning, Raymond Burke Consulting, McCaig Watson and Seosamh Mac Donnacha (2004). Review of Certain Subsidised Ferry Services to the Islands. Department of Community, Rural and Gaeltacht Affairs.
- Mancini, S. (2016). A real-life Multi Depot Multi Period Vehicle Routing Problem with a Heterogeneous Fleet: Formulation and Adaptive Large Neighborhood Search based Matheuristic. *Transportation Research Part C*, 70, 100-112.
- Maragkogianni, A., Papaefthimiou, S. (2015). Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece. *Transportation Research Part D*, 36, 10–17.
- Maraš, V. (2008). Determining optimal transport routes of inland waterway container ships. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2062, NRC, Washington, DC, 50–58.
- Maraš, V., Lazić, J., Davidović, T., Mladenović, N. (2013). Routing of barge container ships by mixed-integer programming heuristics. *Applied Soft Computing*, 13(8), 3515-3528.
- Maraš, V. (2017). *Planiranje linija plovidbi brodova u pomorskom i unutrašnjem vodnom transportu*. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

- Marti, B.E., Cartaya, S. (1996). Caribbean cruising: Competition among US homeports. *Maritime Policy & Management*, 23(1), 15-25.
- Mathisen, T.A., Jorgensen, F. (2012). Panel data analysis of operating costs in the Norwegian car ferry industry. *Maritime Economics & Logistics*, 14, 249-263.
- McArthur, D.P., Osland, L. (2013). Ships in a city harbour: an economic valuation of atmospheric emissions. *Transportation Research Part D*, 21, 47–52.
- Meng, Q., Wang, T. (2010). A chance constrained programming model for short-term liner ship fleet planning problems. *Maritime Policy & Management*, 37(4), 329–346.
- Meng, Q., Wang, T., Wang, S. (2012). Short-term liner ship fleet planning with container transshipment and uncertain container shipment demand. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 96–105.
- Meng, Q., Wang, S., Andersson, H., Thun, K. (2013). Containership routing and scheduling in liner shipping: overview and future research directions. *Transportation Science*, 48(2), 265–280.
- Merrick, J.R.W., van Dorp, J.R., Mazzuchi, T., Harrald, J.R., Saphn, J.E., Grabowski, M. (2002). The Prince William Sound risk assessment. *Interfaces*, 23(6), 25-40.
- Milenković, M., Bojović, N. (2013). A fuzzy random model for rail freight car fleet sizing problem. *Transportation Research Part C*, 33, 107-133.
- Mitrović-Minić, S., Punnen, A.P. (2009a). Variable Intensity Local Search. In: V. Maniezzo, T. Stutzle, S. Voß (eds.) *Matheuristics*. Annals of Information Systems, 245-252. Springer, Boston, MA.
- Mitrović-Minić, S., Punnen, A.P. (2009b). Local search intensified: Very large-scale variable neighbourhood search for the multi-resource generalized assignment problem. *Discrete Optimization*, 6(4), 370–377.
- Mitrović-Minić, S., Punnen, A.P. (2011). Routing and scheduling of a heterogeneous fleet of re-configurable ferries: a model and an evolutionary matheuristic. In: H.J. Luethi (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Operations Research*; 30 August-2 September 2011, Zurich, Switzerland, str. 1-7.
- Mladenović, N., Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 24, 1097–1100.

- Mocerino, M., Murena, F., Quaranta, F., Toscano, D. (2020). A methodology for the design of an effective air quality monitoring network in port areas. *Scientific Reports*, 10(300), 1-10, doi: 10.1038/s41598-019-57244-7.
- Moldanova, J., Fridell, E., Petzold, A., Jalkanen, J.P., Samaras, Z. (2010). Emission factors for shipping—final data for use in Transphorm emission inventories. TRANSPHORM Deliverable D1.2.1, Collaborative Project. Large-scale Integrating Project, p. 25.
- MONSTAT (2020). Uprava za statistiku Crne Gore, Izveštaj: Turizam, Kružna putovanja stranih brodova, www.monstat.org.
- Montewka, J., Hinz, T., Jujala, P., Matusiak, J. (2010). Probability modelling of vessel collisions. *Reliability Engineering and System Safety*, 95(5), 573-589.
- Morales-Fusco, P., Sauri, S., Lago, A. (2012). Potential freight distribution improvements using motorways of the sea. *Journal of Transport Geography*, 24, 1-11.
- Mulder, J., Dekker, R. (2014). Methods for strategic liner shipping network design. *European Journal of Operational Research*, 235, 367-377.
- Murena, F., Mocerino, L., Quaranta, F., Toscano, D. (2018). Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy. *Atmospheric Environment*, 187, 70-83.
- Ng, S.K.W., Loh, C., Lin, C., Booth, V., Chan, J.W.M., Yip, A.C.K., Li, Y., Lau, A.K.H. (2013). Policy change driven by an AIS-assisted marine emission inventory in Hong Kong and the Pearl River Delta. *Atmospheric Environment*, 76, 102–112.
- Ng, MW. (2014). Distribution-free vessel deployment for liner shipping. *European Journal of Operational Research*, 238(3), 858–862.
- Ng, MW. (2015). Container vessel fleet deployment for liner shipping with stochastic dependencies in shipping demand. *Transportation Research Part B*, 74, 79-87.
- Nicholson, T.A.J., Pullen, R.D. (1971). Dynamic Programming Applied to Ship Fleet Management. *Operational Research Quarterly*, 22(3), 211-220.
- Nikčević, J. (2019). Strengthening the role of local government to ensure sustainable development of the cruise sector: The case of Kotor. *Marine Policy*, 109(103693), 1-12, doi: 10.1016/j.marpol.2019.103693.

- Nikolić, D., Gagić, R., Ivošević, Š. (2016). Estimation of Air Pollution from Ships in the Boka Kotorska Bay. In: *The Boka Kotorska Bay Environment*. Springer, Cham, str. 117-128.
- Nikolić, D., Marstijepović, N., Cvrk, N., Gagić, R., Filipović, I. (2017). Evaluation of pollutant emissions from two-stroke marine diesel engine fueled with biodiesel produced from various waste oils and diesel blends. *Brodogradnja – Shipbuilding*, 67(4), 81-90.
- Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13. London: International Maritime Organization – IMO.
[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx).
- Nunes, R.A.O., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G., Sousa, S.I.V. (2017). Assessment of shipping emissions on four ports of Portugal. *Environmental Pollution*, 1-10, doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.112.
- Odeck, J. (2008). Efficiency Measurement of Ferries Serving Road Networks in Norway: A Stochastic Frontier Approach. *Maritime Economics & Logistics*, 10, 409-428.
- Pantuso, G., Fagerholt, K., Hvattum, L. M. (2014). A survey on maritime fleet size and mix problems. *European Journal of Operational Research*, 235, 341–349.
- Papadakis, N.A., Perakis, A.N. (1989). A Nonlinear Approach to the Multiorigin, Multidestination Fleet Deployment Problem. *Naval Research Logistics*, 36, 515-528.
- Pascoe, S., Hutton, T., van Putten, I., Dennis, D., Skewes, T., Deng, R. (2013). DEA-based predictors for estimating fleet size changes when modelling the introduction of rights-based management. *European Journal of Operational Research*, 230, 681-687.
- Patricksson, O.S., Fagerholt, K., Rakke, J.G. (2015). The fleet renewal problem with regional emission limitations: Case study from Roll-on/Roll-off shipping. *Transportation Research Part C*, 56, 346-358.
- Pedersen, P.T., Hansen, P.F., Nielsen, L.P. (1996). Collision risk and damage after collision. Proceedings of the International Seminar: The Safety of Passenger Ro-Ro Vessels, 7 June 1996, London, UK, str. 1–13.

- Pedersen, P.T. (2002). Collision risk for fixed offshore structures close to high density shipping lanes. *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 216(1), 29-44.
- Pedersen, P.T. (2010). Review and application of ship collision and grounding analysis procedures. *Marine structures*, 23(3), 241-262.
- Perakis, A.N. (1985). A second look at fleet deployment. *Maritime Policy and Management*, 12, 209-214.
- Perakis, A.N., Papadakis, N. (1987). Fleet deployment optimization models, part I. *Maritime Policy and Management*, 14, 127-144.
- Perakis, A.N., Jaramillo, D.I. (1991). Fleet deployment optimization for liner shipping Part 1. Background, problem formulation and solution approaches. *Maritime Policy & Management*, 18(3), 183–200.
- Poplawski, K., Setton, E., McEwen, B., Hrebenyk, D., Graham, M., Keller, P. (2011). Impact of cruise ship emissions in Victoria, BC, Canada. *Atmospheric Environment*, 45, 824–833.
- Powel, B.J., Perkins, A.N. (1997). Fleet deployment optimization for liner shipping: an integer programming model. *Maritime Policy & Management*, 24(2), 183-192.
- Privatno brodarsko preduzeće A – PBPA (2020a). Podaci o brodovima: J1, J2 i J3, Kotor, Crna Gora, Obezbeđena zaštita podataka o ličnosti na inicijativu zaposlenog.
- Privatno brodarsko preduzeće B - PBPB (2020b). Podaci o brodu: R1, Kotor, Crna Gora, Obezbeđena zaštita podataka o ličnosti na inicijativu zaposlenog.
- Raa, B. (2015). Fleet optimization for cyclic inventory routing problems. *International Journal of Production Economics*, 160, 172-181.
- Radmilović, Z. (1976). *Savremena dostignuća i stremljenja u oblasti građenja i opremanja brodova morske i unutrašnje plovidbe*, I, II i III deo, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Radmilović, Z., Dragović, B. (2009). *Planiranje i razvoj pomorskog transporta*. Naučna monografija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Regional Economic Cooperation and Integration in Asia - RECIA (2014). Development of Ferry Boat Routes in Northeast Asia Utilizing European Examples of Regional

- Connectivity. Bonn and Eschborn: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2014-en-development-ferry-boats-routes-china.pdf>.
- Rehmatulla, N., Smith, T., Tibbles, L. (2017). The relationship between EU's public procurement policies and energy efficiency of ferries in the EU. *Marine Policy*, 75, 278-289.
- Resolution MEPC.304(72) (2018). Initial IMO Strategy on the reduction of GHG emissions from ships. International Maritime Organization – IMO.
- Risposte Turismo. (2017). Adriatic Sea Tourism Report. Venice: RT, http://www.adriaticseaforum.com/2017/Public/RisposteTurismo_AdriaticSeaTourismReport2017.pdf.
- Rodrigue, J-P., Notteboom, T. (2012). The Geography of Cruise Shipping: Itineraries, Capacity Deployment and Ports of Call. Proceedings of the International Association of Maritime Economists, Annual Conference, Taipei, September 6–8, 2012, 1-26.
- Savić, S., Stanković, M. (2012). *Teorija sistema i rizika*, Akademska misao, Beograd.
- Savić, M. (2013). Metodologija razvijanja upitnika uz pomoć Delfi metoda na kursevima iz statistike, Vodič kroz metodologiju nastave primenjene statistike (Odabrana poglavlja iz metodologije nastave primenjene statistike), Univerzitet u Novom Sadu, Centar za primenjenu statistiku, 17-29.
- Saxe, H., Larsen, T. (2004). Air pollution from ships in three Danish ports. *Atmospheric Environment*, 38, 4057–4067.
- Seong, Y.C., Jeong, J.S., Park, G.K. (2012). The relation with width of fairway and marine traffic flow. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 6(3), 317-321.
- Sha, M., Srinivasan, R. (2016). Fleet sizing in chemical supply chains using agent-based simulation. *Computers and Chemical Engineering*, 84, 180-198.
- Shippax Market (2013). *Market reports & outlook*, Halmstad, Sweden.
- Shippax Market (2015). *Market reports & outlook - The 2014 Ferry, Cruise, Ro-Ro and High-Speed Year in Review with Analyses and Statistics*, Halmstad, Sweden.

- Shyshou, A., Gribkovskaia, I., Barcelo, J. (2010). A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations. *European Journal of Operational Research*, 203, 230-240.
- Skenderović, J., Bonato, J. (2002). Izbjegavanje sudara na moru prema modelu neuronskih mreža. *Pomorstvo*, 16, 93-97.
- Song, S. (2014). Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port. *Atmospheric Environment*, 82, 288–297.
- Song, S.-K., Shon, Z.-H. (2014). Current and future emission estimates of exhaust gases and particles from shipping at the largest port in Korea. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 6612–6622.
- Spurrier A. (2016), *Corsica Ferries founder Pascal Lota dies at 83*, IHS Fairplay article.
- Starcrest Consulting Group LLC (2019). San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report. San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report. The Port of Los Angeles Port of Long Beach, str. 73.
- Stojanovski, Đ. (2009). *Ocena rentabilnosti i rizičnosti projektnog finansiranja*. Bankarstvo 5-6, Stručni prilozi, UDK 005.8, 30-51.
- Suarez-Aleman, A. (2016). Short sea shipping in today's Europe: A critical review of maritime transport policy. *Maritime Economics & Logistics*, 18(3), 331-351.
- Sulaiman, O.O., Saharuddin, A.H., Kader, A.S.A., Laily, A.R.N. (2011). Safety and Environmental Risk and Reliability Model for Inland Waterway Collision Accident Frequency. *International Journal of Energy and Environment*, 5(4), 461-477.
- Sulphur oxides (SOx) and Particulate Matter (PM) – Regulation 14. London: International Maritime Organization – IMO.
[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx).
- Škurić, M., Maraš, V. (2016). Determining the size of ferry fleet: Fuzzy logic approach. *Maritime Technology and Engineering* 3, Edited by: C. Guedes Soares & T.A. Santos, 2016, Taylor & Francis Group, London, 117-121, ISBN 978-1-138-03000-8.

- Škurić, M., Maraš, V. (2017). Some results of nautical risk assessment in port, International Maritime Science Conference, IMSC 2017, 20-21 April, Solin, Croatia, 335-339, ISSN 1847-1498.
- Škurić, M., Maraš, V., Davidović, T., Radonjić, A. (2020a). Optimal allocating and sizing of passenger ferry fleet in maritime transport. *Research in Transportation Economics*, 90(2021) 100868, 1-16, doi: 10.1016/j.retrec.2020.100868.
- Škurić, M., Maraš, V., Radonjić, A., Gagić, R., Nikolić, D. (2020b). Some Results of Air Pollution from Passenger Ferries in the Boka Kotorska Bay. D. Joksimović, M. Đurović, I.S. Zonn, A.G. Kostianoy, and A.V. Semenov (eds.), *The Montenegrin Adriatic Coast: Marine Chemistry Pollution*, Hdb Env Chem, doi: 10.1007/698_2020_702, Springer Nature Switzerland AG.
- Talley, W.K. (2007). Port Performance: An Economics Perspective. *Research in Transportation Economics*, 17, 499–516.
- Tan, B., Otay, E.N. (1999). Modelling and analysis of vessel casualties resulting from tanker traffic through narrow waterways. *Naval Research Logistics*, 46(8), 871-892.
- Tauzović, J. (1987). *Sigurnost broda*, Zbornik Fakulteta za pomorstvo Kotor, God. 13, Br. 13, 9-19, ISSN: 0352-1052.
- Tetley, L., Calcutt, D. (1986). *Electronic Aids to Navigation*. Hodder Arnold, London.
- Tetley, L., Calcutt, D. (2001). *Electronic Navigation Systems*. Butterworth-Heinemann London.
- Tichavska, M., Tovar, M. (2015a). Environmental cost and eco-efficiency from vessel emissions in Las Palmas Port. *Transportation Research Part E*, 83, 126–140.
- Tichavska, M., Tovar, M. (2015b). Port-city exhaust emission model: an application to cruise and ferry operations in Las Palmas Port. *Transportation Research Part A*, 78, 347–360.
- Topaloglu, H., Powell, W.B. (2007). Sensitivity Analysis of a Dynamic Fleet Management Model Using Approximate Dynamic Programming. *Operations Research*, 55(2), 319-331.

- Toscano, D., Murena, F. (2019). Atmospheric ship emissions in ports: A review. Correlation with data of ship traffic. *Atmospheric Environment*, *X*, doi: 10.1016/j.aeaoa.2019.100050.
- Tzannatos, E. (2010a). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece. *Atmospheric Environment*, *44*, 400–407.
- Tzannatos, E. (2010b). Cost assessment of ship emission reduction methods at berth: the case of the Port of Piraeus, Greece. *Maritime Policy & Management*, *37*, 427–445.
- Цхадая, Н.Д., Подосенова, Н.С. (2008). *Управление безопасностью труда*, ЦентрЛитНефтеГаз, Москва.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2013 (2013). United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2014 (2014). United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2015 (2015). United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2016 (2016). United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2017 (2017). United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2021 (2021). United Nations Conference on Trade and Development, New York.
- United States Coast Guard - USCG (1999). Regulatory Assessment Use of Tugs to Protect Against Oil Spills in the Puget Sound Area, Report No. 9522-002.
- United States Environmental Protection Agency – USEPA (2000). Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data. Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency, str. 158.
- Vaccaro, R., Trozzi, C., Crocetti, S. (1998). Air pollutant emissions from ships: high Tyrrhenian Sea ports case study. In: First International Conference PORTS 98 Maritime Engineering and Ports, Genoa, September 1998.

- Vaggelas, K. G., Pallis, A.A. (2010). Passenger Ports: Services Provision and Their Benefits. *Maritime Policy & Management*, 37(1), 73-89.
- Vlada Republike Hrvatske – VRH (2016). Odluka o određivanju državnih linija u javnom prijevozu u linijskom obalnom pomorskom prometu. Vlada Republike Hrvatske, Zagreb.
- Vukadinović, S., Popović, J. (2008). *Matematička statistika*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd.
- Wang, C., Corbett, J.J., Firestone, J. (2008). Modeling energy use and emissions from north American shipping: application of ship traffic, energy and environment model. *Environmental Science & Technology*, 42(1), 193–199.
- Wang, D. Z.W., Lo, H. (2008). Multi-fleet ferry service network design with passenger preferences for differential services. *Transportation Research Part B*, 42, 798-822.
- Wang, T., Meng, Q., Wang, S., Tan, Z. (2013). Risk management in liner ship fleet deployment: a joint chance constrained programming model. *Transportation Research Part E*, 60, 1–12.
- Wang, Y., Jung, K-A., Yeo, G-T., Chou, C-C. (2014). Selecting a cruise port of call location using the fuzzy-AHP method: A case study in East Asia. *Tourism Management*, 42, 262-270.
- Waters II, W.G., Evans, J., Caravan, J. (1996). Subsidy policy on low volume ferry routes: British Columbia's coastal services. *Transport Policy*, 3(3), 111-121.
- Weisbrod, R.E., Lawson, C.T. (2003). Ferry systems: Planning for the revitalization of U.S. cities. *Journal of Urban Technology*, 10(2), 47-68.
- Winebrake, J.J., Corbett, J.J., Wang, C., Farrell, A.E., Woods, P. (2005). Optimal Fleetwide Emissions Reductions for Passenger Ferries: An Application of a Mixed-Integer Nonlinear Programming Model for the New York–New Jersey Harbor. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(4), 458-466.
- Yaghini, M., Khandaghabadi, Z. (2013). A hybrid metaheuristic algorithm for dynamic rail car fleet sizing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 4127-4138.
- Yan, S., Chen, C-H., Chen, H-Y., Lou, T-C. (2007). Optimal scheduling models for ferry companies under alliances. *Journal of Marine Science and Technology*, 15(1), 53-66.

- Yang, D.Q., Kwan, S.H., Lu, T., Fu, Q.Y., Cheng, J.M., Streets, D.G., Wu, Y.-M., Li, A.-J. (2007). An emission inventory of marine vessels in Shanghai in 2003. *Environmental Science & Technology*, 41, 5183–5190.
- Yau, P.S., Lee, S.C., Corbett, J.J., Wang, C., Cheng, Y., Ho, K.F. (2012). Estimation of exhaust emission from ocean-going vessels in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 431, 290–306.
- Yercan, F., Roe, M. (1999). Operationalisation of a Positioning Model in Ferry Services: an Eastern Mediterranean Case. *International Journal of Maritime Economics*, 1(2), 73-86.
- Zaman, M.B., Santoso, A., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Maimun, A. (2015). Formal Safety Assessment (FSA) for Analysis of Ship Collision Using AIS Data. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 9(1), 67-72.
- Zhang, Y-Y., Li, J-B. (2007). Dynamic Optimal Model of Vehicle Fleet Size and Exact Algorithm. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 27(2), 83-91.

PRILOG I

Tabela I.1. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine dobijeni CPLEX solverom (januar (h_1))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	24		1	
r_2		24	1	
r_3	24		1	
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6	3	22		
r_7			7	16
r_8			12	5
r_9	1		14	
r_{10}			14	1
r_{11}	3		14	
r_{12}			14	1

Tabela I.2. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine dobijeni CPLEX solverom (februar (h_2))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	24		1	
r_2		24	1	
r_3	24		1	
r_4	3	21	1	
r_5	24		1	
r_6		25		
r_7			7	16
r_8			11	8
r_9			13	4
r_{10}			13	4
r_{11}	4		10	1
r_{12}			11	2

Tabela I.3. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine
dobijeni CPLEX solverom (mart (h_3))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2	2	23		
r_3	25			
r_4		23	2	
r_5	25			
r_6		24	1	
r_7			3	25
r_8			13	3
r_9			13	4
r_{10}			11	2
r_{11}	1		12	
r_{12}	1		9	5

Tabela I.4. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine
dobijeni CPLEX solverom (april (h_4))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2		24	1	
r_3	25			
r_4		25		
r_5	25			
r_6	3	21	1	
r_7	1		1	30
r_8			12	5
r_9			14	2
r_{10}			8	10
r_{11}			11	2
r_{12}			12	

Tabela I.5. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine
dobijeni CPLEX solverom (maj (h_5))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2	4	21		
r_3	25			
r_4		25		
r_5	24		1	
r_6		24	1	
r_7			3	25
r_8			11	8
r_9			14	2
r_{10}			13	
r_{11}			12	2
r_{12}			12	2

Tabela I.6. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine
dobijeni CPLEX solverom (jun (h_6))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2	3	22		
r_3	25			
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6		24	1	
r_7				33
r_8			14	2
r_9			14	2
r_{10}			14	2
r_{11}	2		11	3
r_{12}			12	2

Tabela I.7. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine
dobijeni CPLEX solverom (jul (h_7))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	17		8	
r_2		25		
r_3	24	1		
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6	1	23	1	
r_7	2		1	28
r_8			12	5
r_9	4		13	
r_{10}		1	12	
r_{11}	41			
r_{12}		29	3	1

Tabela I.8. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine
dobijeni CPLEX solverom (avgust (h_8))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	18		7	
r_2		17	8	
r_3	17		8	
r_4	1	23	1	
r_5	24		1	
r_6		23	2	
r_7	2		14	
r_8		2	14	
r_9	9		12	
r_{10}		3	12	
r_{11}	42			
r_{12}		35	1	1

Tabela I.9. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine dobijeni CPLEX solverom (septembar (h_9))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	19		6	
r_2		18	7	
r_3	17		8	
r_4		25		
r_5	24		1	
r_6	1	23	1	
r_7			14	2
r_8			13	2
r_9	12		10	
r_{10}			15	
r_{11}	40			1
r_{12}		37	1	

Tabela I.10. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine dobijeni CPLEX solverom (oktobar (h_{10}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	17		8	
r_2		19	6	
r_3	17	1	7	
r_4		25		
r_5	25			
r_6		25		
r_7			3	22
r_8			9	8
r_9	10		10	
r_{10}	1	6	11	
r_{11}	43			
r_{12}		37		1

Tabela I.11. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine dobijeni CPLEX solverom (novembar (h_{11}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	18		7	
r_2		20	6	
r_3	20		6	
r_4		25		
r_5	24		1	
r_6	1	24	1	
r_7	2		1	28
r_8			14	2
r_9	11		8	3
r_{10}		6	10	
r_{11}	37			
r_{12}		38		

Tabela I.12. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama na primeru jedne godine dobijeni CPLEX solverom (decembar (h_{12}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	18		7	
r_2		19	7	
r_3	19		7	
r_4		25		
r_5	26			
r_6		26		
r_7	2		1	28
r_8			6	18
r_9			12	5
r_{10}		4	11	2
r_{11}	43			
r_{12}	4	38		

Tabela I.13. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (januar (h_1))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	24		1	
r_2	3	21	1	
r_3	24		1	
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6		25		
r_7	1		4	22
r_8			12	5
r_9	1		14	
r_{10}			14	1
r_{11}	2		13	3
r_{12}			14	1

Tabela I.14. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (februar (h_2))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	24		1	
r_2	3	21	1	
r_3	24		1	
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6		25		
r_7			12	5
r_8			6	19
r_9			15	
r_{10}			13	4
r_{11}	4		10	1
r_{12}			11	2

Tabela I.15. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (mart (h_3))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2		25		
r_3	25			
r_4	1	22	2	
r_5	25			
r_6	1	23	1	
r_7	1		9	11
r_8			13	3
r_9			13	4
r_{10}			11	2
r_{11}	1		12	
r_{12}			7	10

Tabela I.16. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (april (h_4))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2	3	21	1	
r_3	25			
r_4		25		
r_5	25			
r_6		24	1	
r_7	1		6	19
r_8			12	5
r_9			14	2
r_{10}			10	6
r_{11}			12	
r_{12}			12	

Tabela I.17. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (maj (h_5))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2		25		
r_3	25			
r_4	4	21		
r_5	24		1	
r_6		24	1	
r_7			12	5
r_8			11	8
r_9			14	2
r_{10}			8	11
r_{11}			12	2
r_{12}			12	2

Tabela I.18. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (jun (h_6))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	25			
r_2		25		
r_3	25			
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6	3	21	1	
r_7	1		7	17
r_8			14	2
r_9			14	2
r_{10}			14	2
r_{11}	1		10	6
r_{12}			12	2

Tabela I.19. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za prvi scenario
dobijeni CPLEX solverom (jul (h_7))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	17		8	
r_2		25		
r_3	25			
r_4	1	23	1	
r_5	24		1	
r_6		24	1	
r_7	1		4	22
r_8			12	5
r_9	4		13	
r_{10}			11	3
r_{11}	41			
r_{12}		31	2	2

Tabela I.20. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za prvi scenario
dobijeni CPLEX solverom (avgust (h_8))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	18		7	
r_2		17	8	
r_3	17		8	
r_4		24	1	
r_5	24		1	
r_6	1	22	2	
r_7			6	19
r_8			12	6
r_9	12		11	
r_{10}			10	7
r_{11}	41			
r_{12}		40		

Tabela I.21. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (septembar (h_9))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	19		6	
r_2		18	7	
r_3	17		8	
r_4		25		
r_5	26			
r_6		24	1	
r_7	1		1	30
r_8			13	2
r_9	7		11	1
r_{10}			15	
r_{11}	42			
r_{12}	1	36	1	

Tabela I.22. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario dobijeni CPLEX solverom (oktobar (h_{10}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	17		8	
r_2		19	6	
r_3	18		7	
r_4		25		
r_5	25			
r_6		25		
r_7			8	11
r_8			9	8
r_9	10		10	
r_{10}		7	6	11
r_{11}	43			
r_{12}		37		1

Tabela I.23. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario
dobijeni CPLEX solverom (novembar (h_{11}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	18		7	
r_2		20	6	
r_3	18		7	
r_4	1	24		
r_5	24		1	
r_6		23	2	
r_7	1			31
r_8			15	
r_9	14		8	1
r_{10}		8	9	1
r_{11}	37			
r_{12}		38		

Tabela I.24. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za prvi scenario
dobijeni CPLEX solverom (decembar (h_{12}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	18		7	
r_2		19	7	
r_3	19		7	
r_4	3	22		
r_5	26			
r_6		26		
r_7	1			31
r_8	1		14	
r_9	1		14	
r_{10}		4	11	2
r_{11}	43			
r_{12}		42		

Tabela I.25. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za drugi scenario dobijeni CPLEX solverom (januar (h_1) i februar (h_2))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	48		2	
r_2	6	42	2	
r_3	50		1	
r_4		48	2	
r_5	48		2	
r_6		50	0	
r_7	1		11	38
r_8			23	13
r_9	1		27	4
r_{10}			27	5
r_{11}	4		24	3
r_{12}			26	1

Tabela I.26. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za drugi scenario dobijeni CPLEX solverom (mart (h_3) i april (h_4))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	50			
r_2	2	47	1	
r_3	50			
r_4		48	2	
r_5	50			
r_6	3	45	2	
r_7			16	29
r_8			25	8
r_9			29	2
r_{10}			19	12
r_{11}	2		20	8
r_{12}	1		22	3

Tabela I.27. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za drugi scenario dobijeni CPLEX solverom (maj (h_5) i jun (h_6))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	50			
r_2		50		
r_3	50			
r_4		49	1	
r_5	48		2	
r_6	7	41	2	
r_7			17	27
r_8			20	21
r_9			28	4
r_{10}			27	2
r_{11}	2		23	5
r_{12}			24	4

Tabela I.28. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za drugi scenario dobijeni CPLEX solverom (jul (h_7) i avgust (h_8))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	35		15	
r_2	1	41	8	
r_3	42		8	
r_4		48	2	
r_5	48		2	
r_6		47	3	
r_7	1		11	39
r_8			21	18
r_9	16		24	
r_{10}	1		25	
r_{11}	82			
r_{12}		70		7

Tabela I.29. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za drugi scenario dobijeni CPLEX solverom (septembar (h_9) i oktobar (h_{10}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	36		14	
r_2		37	13	
r_3	35		15	
r_4	1	49		
r_5	49		1	
r_6		49	1	
r_7	1		9	41
r_8			18	19
r_9	21	1	19	2
r_{10}		4	26	2
r_{11}	83			1
r_{12}		76	1	

Tabela I.30. Rezultati dodeljivanja brodova plovodbenim linijama za drugi scenario dobijeni CPLEX solverom (novembar (h_{11}) i decembar (h_{12}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	36		14	
r_2		39	13	
r_3	39		13	
r_4	1	49		
r_5	50		1	
r_6		51	1	
r_7	3		10	39
r_8			20	20
r_9	16	1	20	4
r_{10}	1	6	22	2
r_{11}	80			
r_{12}		80		

Tabela I.31. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za treći scenario dobijeni CPLEX solverom (januar (h_1), februar (h_2) i mart (h_3))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	73		2	
r_2	6	67	2	
r_3	73		2	
r_4		71	4	
r_5	73		2	
r_6	2	72	1	
r_7			21	48
r_8			31	27
r_9	1		42	4
r_{10}			38	7
r_{11}	8		36	1
r_{12}	1		34	8

Tabela I.32. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za treći scenario dobijeni CPLEX solverom (april (h_4), maj (h_5) i jun (h_6))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	75			
r_2	10	64	1	
r_3	75			
r_4		74	1	
r_5	73		2	
r_6		72	3	
r_7	1		18	57
r_8			37	15
r_9			45	
r_{10}			35	12
r_{11}	2		34	7
r_{12}			36	4

Tabela I.33. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za treći scenario dobijeni CPLEX solverom (jul (h_7), avgust (h_8) i septembar (h_9))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	54		21	
r_2		60	15	
r_3	59		16	
r_4	1	72	2	
r_5	72		3	
r_6	1	70	4	
r_7	4		14	63
r_8			31	26
r_9	23		35	1
r_{10}		1	39	2
r_{11}	124			
r_{12}	1	106	2	5

Tabela I.34. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za treći scenario dobijeni CPLEX solverom (oktobar (h_{10}), novembar (h_{11}) i decembar (h_{12}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	53		22	
r_2	5	53	19	
r_3	57		20	
r_4		75		
r_5	75		1	
r_6	1	75	1	
r_7	3		13	61
r_8	1		30	25
r_9	22		32	3
r_{10}		19	30	5
r_{11}	120			2
r_{12}		117		1

Tabela I.35. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za četvrti scenario dobijeni CPLEX solverom (januar (h_1), februar (h_2), mart (h_3) i april (h_4))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	98		2	
r_2	6	91	3	
r_3	98		2	
r_4	2	94	4	
r_5	98		2	
r_6	3	95	2	
r_7	1		27	67
r_8			48	21
r_9	1		54	10
r_{10}			46	17
r_{11}	8		47	3
r_{12}	1		46	8

Tabela I.36. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za četvrti scenario dobijeni CPLEX solverom (maj (h_5), jun (h_6), jul (h_7) i avgust (h_8))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	85		15	
r_2	1	91	8	
r_3	92		8	
r_4	3	94	3	
r_5	96		4	
r_6	4	91	5	
r_7	2		15	94
r_8		2	51	15
r_9	16		52	4
r_{10}			51	5
r_{11}	84		23	5
r_{12}		68	27	6

Tabela I.37. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za četvrti scenario dobijeni CPLEX solverom (septembar (h_9), oktobar (h_{10}), novembar (h_{11}) i decembar (h_{12}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	72		28	
r_2		76	26	
r_3	74		28	
r_4		100		
r_5	99		2	
r_6	1	99	2	
r_7	6	1	15	87
r_8			42	30
r_9	34		41	5
r_{10}	1	12	46	7
r_{11}	165			
r_{12}		154	1	1

Tabela I.38. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za peti scenario dobijeni CPLEX solverom (januar (h_1), februar (h_2), mart (h_3), april (h_4), maj (h_5) i jun (h_6))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	148		2	
r_2	6	141	3	
r_3	148		2	
r_4	10	135	5	
r_5	146		4	
r_6	3	143	4	
r_7	3		32	119
r_8			73	31
r_9	1		82	14
r_{10}			75	15
r_{11}	8		72	5
r_{12}		1	72	8

Tabela I.39. Rezultati dodeljivanja brodova plovidbenim linijama za peti scenario dobijeni CPLEX solverom (jul (h_7), avgust (h_8), septembar (h_9), oktobar (h_{10}), novembar (h_{11}) i decembar (h_{12}))

	k_1	k_2	k_3	k_7
r_1	107		43	
r_2	3	115	34	
r_3	116		36	
r_4		148	2	
r_5	146	1	4	
r_6		147	5	
r_7	5	1	26	127
r_8		2	63	46
r_9	50		66	3
r_{10}		17	69	9
r_{11}	245			1
r_{12}	4	217	2	8

Tabela I.40. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za januar-mart

	EFSA	EF SB	EF SC	CFSA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	73	0	2	0	564
Linija 2	6	67	2	0	586
Linija 3	73	0	2	0	530
Linija 4	0	71	4	0	187
Linija 5	73	0	2	0	12
Linija 6	2	72	1	0	581
Linija 7	0	0	21	48	4
Linija 8	0	0	31	27	7
Linija 9	1	0	42	4	44
Linija 10	0	0	38	7	31
Linija 11	8	0	36	1	30
Linija 12	1	0	34	8	13

Tabela I.41. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za april-jun

	EFSA	EF SB	EF SC	CF SA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	75	0	0	0	750
Linija 2	10	64	1	0	839
Linija 3	75	0	0	0	695
Linija 4	0	74	1	0	521
Linija 5	73	0	2	0	420
Linija 6	0	72	3	0	62
Linija 7	1	0	18	57	18
Linija 8	0	0	37	15	13
Linija 9	0	0	45	0	70
Linija 10	0	0	35	12	26
Linija 11	2	0	34	7	7
Linija 12	0	0	36	4	10

Tabela I.42. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za jul-septembar

	EFSA	EF SB	EF SC	CF SA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	54	0	21	0	122
Linija 2	0	60	15	0	309
Linija 3	59	0	16	0	303
Linija 4	1	72	2	0	258
Linija 5	72	0	3	0	162
Linija 6	1	70	4	0	209
Linija 7	4	0	14	63	15
Linija 8	0	0	31	26	13
Linija 9	23	0	35	1	9
Linija 10	0	1	39	2	24
Linija 11	124	0	0	0	49
Linija 12	1	106	2	5	41

Tabela I.43. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za oktobar-decembar

	EFSA	EF SB	EF SC	CF SA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	53	0	22	0	154
Linija 2	5	53	19	0	67
Linija 3	57	0	20	0	83
Linija 4	0	75	0	0	759
Linija 5	75	0	1	0	137
Linija 6	1	75	1	0	124
Linija 7	3	0	13	61	20
Linija 8	1	0	30	25	10
Linija 9	22	0	32	3	14
Linija 10	0	19	30	5	18
Linija 11	120	0	0	2	25
Linija 12	0	117	0	1	31

Tabela I.44. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za januar-april

	EFSA	EF SB	EF SC	CF SA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	98	0	2	0	864
Linija 2	6	91	3	0	982
Linija 3	98	0	2	0	819
Linija 4	2	94	4	0	455
Linija 5	98	0	2	0	370
Linija 6	3	95	2	0	585
Linija 7	1	0	27	67	9
Linija 8	0	0	48	21	13
Linija 9	1	0	54	10	24
Linija 10	0	0	46	17	38
Linija 11	8	0	47	3	30
Linija 12	1	0	46	8	23

Tabela I.45. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za maj-avgust

	EFSA	EF SB	EF SC	CF SA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	85	0	15	0	530
Linija 2	1	91	8	0	673
Linija 3	92	0	8	0	656
Linija 4	3	94	3	0	363
Linija 5	96	0	4	0	120
Linija 6	4	91	5	0	163
Linija 7	2	0	15	94	40
Linija 8	0	2	51	15	30
Linija 9	16	0	52	4	18
Linija 10	0	0	51	5	43
Linija 11	84	0	23	5	28
Linija 12	0	68	27	6	44

Tabela I.46. Rezultati broja putovanja i neiskorišćenih sedišta za septembar-decembar

	EFSA	EF SB	EF SC	CF SA	Neiskorišćena sedišta
Linija 1	72	0	28	0	196
Linija 2	0	76	26	0	146
Linija 3	74	0	28	0	136
Linija 4	0	100	0	0	907
Linija 5	99	0	2	0	241
Linija 6	1	99	2	0	228
Linija 7	6	1	15	87	39
Linija 8	0	0	42	30	18
Linija 9	34	0	41	5	20
Linija 10	1	12	46	7	47
Linija 11	165	0	0	0	57
Linija 12	0	154	1	1	32

PRILOG II

Tabela II.1. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u aprilu i oktobru mesecu prvog perioda na svim plovidbenim linijama u 2018. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
April_2018	53.0333	47.1730	58.8937	15.69424
Oktobar_2018	50.7000	43.6483	57.7517	18.88468
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
April_2018	11.1667	7.3434	14.9899	10.23882
Oktobar_2018	13.8333	9.5364	18.1303	11.50737
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
April_2018	12.0333	8.9425	15.1242	8.27744
Oktobar_2018	18.0000	13.1274	22.8726	13.04898
<i>Krstarenje celim zalivom uključujući kraće rute</i>				
April_2018	19.4667	2.1207	36.8126	46.45334
Oktobar_2018	81.7333	49.6813	113.7854	85.83703

Tabela II.2. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje od maja do septembra meseca drugog perioda na svim plovidbenim linijama u 2018. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
Maj_2018	66.2667	62.9923	69.5410	8.76881
Jun_2018	75.2667	72.3413	78.1920	7.83420
Jul_2018	83.8667	79.6652	88.0681	11.25177
Avgust_2018	86.8667	82.9753	90.7580	10.42124
Septembar_2018	80.0667	78.5797	81.5536	3.98214
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
Maj_2018	25.0667	22.9913	27.1421	5.55805
Jun_2018	28.9333	27.5572	30.3095	3.68532
Jul_2018	33.6333	31.9678	35.2989	4.46043
Avgust_2018	35.8667	34.6234	37.1099	3.32942
Septembar_2018	22.8000	17.5253	28.0747	14.12603
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
Maj_2018	16.0333	11.9848	20.0818	10.84207
Jun_2018	28.9000	20.7684	37.0316	21.77685
Jul_2018	49.3000	42.1334	56.4666	19.19258
Avgust_2018	53.7000	45.3849	62.0151	22.26819
Septembar_2018	22.9333	17.6091	28.2576	14.25853
<i>Krstarenje celim zalivom uključujući kraće rute</i>				
Maj_2018	98.5000	65.4522	131.5478	88.50356
Jun_2018	137.5333	110.4402	164.6264	72.55663
Jul_2018	144.8000	116.9802	172.6198	74.50267
Avgust_2018	152.2667	119.9307	184.6026	86.59734
Septembar_2018	174.4000	140.4777	208.3223	90.84568

Tabela II.3. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u martu i novembru mesecu trećeg perioda na plovidbenim linijama u 2018. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
Mart_2018	18.3333	14.0710	22.5957	11.41485
Novembar_2018	17.3667	12.2633	22.4701	13.66719
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
Mart_2018	8.2000	5.5900	10.8100	6.98965
Novembar_2018	4.5333	1.8989	7.1678	7.05512

Tabela II.4. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u aprilu i oktobru mesecu prvog perioda na svim plovidbenim linijama u 2019. godini

	Srednja vr. potražnje za prev. turista	95% interval pov. za sred. vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
April_2019	46.0333	37.4176	54.6491	23.07332
Oktobar_2019	61.7000	54.9550	68.4450	18.06339
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
April_2019	27.0667	21.1100	33.0234	15.95237
Oktobar_2019	17.3667	13.3636	21.3698	10.72054
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
April_2019	17.5667	14.1420	20.9914	9.17148
Oktobar_2019	21.8000	18.2665	25.3335	9.46281
<i>Linija: Krstarenje celim zalivom uključujući kraće rute</i>				
April_2019	35.0333	10.6712	59.3955	65.24304
Oktobar_2019	87.7667	56.9902	118.5432	82.42099

Tabela II.5. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje od maja do septembra meseca drugog perioda na svim plovidbenim linijama u 2019. godini

	Srednja vr. potražnje za prev. turista	95% interval poverenja za sr. vr.		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
Maj_2019	86.6667	83.0181	90.3152	9.77094
Jun_2019	105.0667	98.7275	111.4058	16.97652
Jul_2019	107.4333	101.1615	113.7052	16.79631
Avgust_2019	99.7667	94.9191	104.6142	12.98191
Septembar_2019	85.3000	77.9925	92.6075	19.56977
<i>Linija: Kotor – Herceg Novi – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
Maj_2019	26.1667	24.6409	27.6924	4.08600
Jun_2019	34.4333	30.9557	37.9110	9.31326
Jul_2019	38.1333	35.2547	41.0120	7.70908
Avgust_2019	32.7667	31.5006	34.0327	3.39049
Septembar_2019	30.1667	29.2308	31.1025	2.50631
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
Maj_2019	13.8667	10.3382	17.3951	9.44944
Jun_2019	28.9667	22.2586	35.6747	17.96449
Jul_2019	50.5333	41.7091	59.3576	23.63185
Avgust_2019	58.0333	50.1655	65.9012	21.07046
Septembar_2019	26.7000	23.2634	30.1366	9.20326
<i>Krstarenje celim zalivom uključujući kraće rute</i>				
Maj_2019	114.4000	84.9459	143.8541	78.87948
Jun_2019	182.2333	144.0756	220.3911	102.18836
Jul_2019	174.5333	141.0121	208.0546	89.77164
Avgust_2019	198.4333	164.6986	232.1681	90.34329
Septembar_2019	201.9000	173.2426	230.5574	76.74604

Tabela II.6. 95% intervali poverenja za srednju vrednost potražnje u martu i novembru mesecu trećeg perioda na plovidbenim linijama u 2019. godini

	Srednja vrednost potražnje za prevozom turista	95% interval poverenja za srednju vrednost		St. odstupanje
		Donja granica	Gornja granica	
<i>Linija: Perast – Gospa od Škrpjela – Perast</i>				
Mart_2019	12.1000	7.4648	16.7352	12.41342
Novembar_2019	4.4000	0.7922	8.0078	9.66187
<i>Linija: Kotor – Gospa od Škrpjela – Perast – Kotor</i>				
Mart_2019	11.5000	7.4334	15.5666	10.89052
Novembar_2019	4.1333	0.5334	7.7333	9.64091

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Maja Škurić

Broj indeksa: DS15D005

Studijski program: Saobraćaj

Naslov rada: DIMENSIONISANJE FLOTE BRODOVA ZA LOKALNI I
REGIONALNI TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA

Mentor: Prof. dr Vladislav Maraš, vanredni profesor
Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta

Potpisana Maja Škurić

izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

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

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

U Beogradu, februar 2022. god.

Potpis doktoranda



Izjava o autorstvu

Potpisana: Maja Škurić

Broj indeksa: DS15D005

Izjavljujem

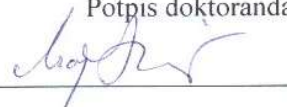
da je doktorska disertacija pod naslovom

**DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA ZA LOKALNI I REGIONALNI
TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA**

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

U Beogradu, februar 2011. god.

Potpis doktoranda



Izjava o korišćenju

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

**DIMENZIONISANJE FLOTE BRODOVA ZA LOKALNI I REGIONALNI
TRAJEKTNI PREVOZ PUTNIKA**

koja je moje autorsko delo.

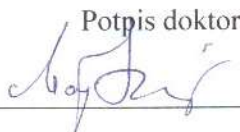
Disertaciju sa svim prilogima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerada
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

U Beogradu, februar 2022 god.

Potpis doktoranda



1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

BIOGRAFIJA AUTORA

Maja Škurić je rođena 1984. godine u Baru, Crna Gora. Osnovnu školu i gimnaziju je završila u rodnom gradu, a 2003. godine je upisala Fakultet za pomorstvo u Kotoru Univerziteta Crne Gore. Diplomirala je 2007. godine. Tokom studija je bila dobitnica stipendija Ministarstva prosvete Crne Gore. U 2008. godini je upisala master akademske studije na Univerzitetu u Beogradu – Saobraćajnom fakultetu, gde je 2011. godine stekla zvanje „master inženjer saobraćaja“. Na istom fakultetu je od 2015. godine student doktorskih studija na studijskom programu „Saobraćaj“. Ispite predviđene programom je položila sa prosečnom ocenom 9,63. U 2015. godini je dobila stipendiju Ministarstva prosvete Crne Gore za sufinansiranje školarine studentima doktorskih studija. Govori engleski i italijanski, a služi se i španskim jezikom.

Tokom studiranja, tačnije od 2005. do 2007. godine, bila je demonstrator u nastavi na Fakultetu za pomorstvo u Kotoru. Pripravnički staž je stekla radeći u preduzeću „Interlog doo“ baveći se lučkom i brodarskom agenturom. Nakon toga je počela da radi kao honorarni saradnik u nastavi iz pomorsko-transportne grupe predmeta na Fakultetu za pomorstvo u Kotoru, kada započinje i svoj naučno-istraživački rad. Od 2009. godine radila je kao saradnik u nastavi i tehnički saradnik.

Kao autor i koautor, do sada je objavila preko 60 naučnih radova; od toga je šest radova objavljeno u naučnim časopisima međunarodnog značaja (na *SCI listi* sa IF), jedan rad je prihvaćen u naučnom časopisu međunarodnog značaja i više radova je objavila na međunarodnim naučnim konferencijama. Učestovala je na seminarima i simpozijumima, dok se trenutno nalazi u istraživačkim timovima više međunarodnih projekata. Tokom 2012., 2014. i 2015. godine, provela je nekoliko nedelja na specijalizaciji na Fakultetu organizacionih nauka u Kranju, Univerzitet u Mariboru (Slovenija), gde je usavršavala programske alate i tehnike. Trenutni broj citata naučnih radova u Scopus bazi je 103, dok Google Scholar baza broji preko 190 citata. Autor je jednog poglavlja u monografiji objavljenoj u *Springer Nature Switzerland AG* 2021.