Višekriterijski konceptualni projektni model generičkoga tipa višenamjenskoga ratnoga broda

Ljulj, Andrija

Doctoral thesis / Disertacija

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:703014

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

mr. sc. Andrija Ljulj dipl. ing.

VIŠEKRITERIJSKI KONCEPTUALNI PROJEKTNI MODEL GENERIČKOGA TIPA VIŠENAMJENSKOGA RATNOGA BRODA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2012

Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

mr. sc. Andrija Ljulj dipl. ing.

VIŠEKRITERIJSKI KONCEPTUALNI PROJEKTNI MODEL GENERIČKOGA TIPA VIŠENAMJENSKOGA RATNOGA BRODA

DOKTORSKI RAD

Mentor:
Dr. sc. Vedran Slapničar docent

Zagreb, 2012

University of Zagreb

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND NAVAL ARCHITECTURE

MSc Andrija Ljulj

MULTICRITERIAL CONCEPTUAL DESIGN MODEL OF GENERIC TYPE OF MULTIPURPOSE NAVAL SHIP

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Ph. D. Vedran Slapničar docent

Zagreb, 2012

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK: 629.5.01

Ključne riječi: višenamjenski ratni brod, korveta, konceptualni projektni model, samouravnoteženi model, višekriterijska optimizacija, Pareto metoda, genetički algoritam, mutacija, križanje, selekcija, NSGA-II metoda, PPNRGA metoda, Saatyeva metoda odabira najboljih rješenja,

Znanstveno područje: tehničke znanosti

Znanstveno polje: brodogradnja

Institucija u kojoj je rad izrađen: Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

Mentor rada : Dr. sc. Vedran Slapničar docent

Broj stranica: 241

Broj slika: 65

Broj tablica: 14

Broj priloga: 10

Broj bibliografskih jedinica: 75

Datum obrane: 26. srpanj 2012.

Povjerenstvo: Dr. sc. Izvor Grubišić, red. prof., predsjednik
Dr. sc. Vedran Slapničar, docent, mentor
Dr. sc. Bruno Čalić, red. prof., član
Dr. sc. Predrag Čudina dipl. ing., član
Dr. sc. Ermina Begović docent, član

Institucija u kojoj je rad pohranjen: Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Vedranu Slapničaru na svesrdnoj potpori i savjetima tijekom izrade ovog rada. Ovaj rad bio bi neizvediv bez njegove pomoći u stručnoj literaturi i savjetima. Zahvaljujem se prof. dr. sc. Izvoru Grubišiću na korisnim savjetima i potpori u stručnoj literaturi tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se prof. dr. sc. Žihi Kalmanu na inovativnim prijedlozima kod definiranja hipoteze i ciljeva rada. Zahvaljujem se povjerenstvu za obranu rada koje je dalo korisne smjernice za nastavak izrade rada nakon obrane teme rada te na svim korisnim sugestijama tijekom pregleda konačnog rada.

Zahvaljujem se Ministarstvu obrane RH što mi je pružilo priliku za izradu doktorskog rada, te Službi za razvoj, opremanje i modernizaciju koja mi je osigurala radne uvjete. Zahvaljujem se kbb Dragi Periću na stručnoj pomoći u području zapovjedno informacijskih i komunikacijskih sustava te djelatnicima Hrvatske Ratne Mornarice kfr Damiru Dojkiću, kfr Darku Malečiću, kkr Antunu Flegaru i pbb Dragi Šimiću koji su sudjelovali u određivanju težinskih koeficijenata atributa globalne učinkovitosti.

Zahvaljujem se Snježani, Heleni i Ani na strpljivosti zbog oduzetog zajedničkog vremena koje bih proveo zajedno s njima da ga nisam odvojio za izradu ovog rada.

SADRŽAJ

PREDGOVOR **vii**

SAŽETAK **viii**

SUMMARY **ix**

KLJUČNE RIJEČI **x**

KEY WORDS **x**

POPIS OZNAKA I KRATICA **xi**

POPIS SLIKA **xxxii**

POPIS TABLICA **xxxiv**

1 UVOD 1

1.1 Proces projektiranja ratnog broda 1

1.2 Prikaz dosadašnjih radova o projektiranju ratnog broda 3

1.3 Zahtjevi za razvoj projektnog modela 5

1.4 Scenariji upotrebe višenamjenskog ratnog broda 13

2 CILJ, HIPOTEZA RADA I ZNANSTVENI DOPRINOS 16

2.1 Cilj i hipoteza rada 16

2.2 Znanstveni doprinos rada 16

3 MATEMATIČKI MODEL VIŠEKRITERIJSKOG KONCEPTUALNOG PROJEKTA VIŠENAMJENSKOG RATNOG BRODA 17

3.1 Opis projektnog modela 17

3.2 Struktura projektnog modela 18

3.3 Projektne varijable 20

3.4 Parametri projektnog modela 22

3.5 Postupak samouravnotežavanja projektnih rješenja 22

3.5.1 Brodska forma, koeficijenti, glavne izmjere i omjeri 24

3.5.1.1 Glavne izmjere i koeficijenti forme projektnog modela 31

3.5.1.2 Omjeri glavnih izmjera i koeficijenti forme 31

3.5.2 Otpor broda 32

3.5.3 Propulzija 34

3.5.3.1 Koeficijent sustrujanja 36

3.5.3.2 Koeficijent smanjenog poriva 37

3.5.3.3 Relativni rotativni koeficijent 38

3.5.3.4 Iskoristivost propelera i snaga na osovini 38

3.5.3.5 Određivanje postizive brzine broda i promjer vijka 39
3.5.3.6 Propulzijski koeficijent vodomlaznog propulzora 40
3.5.3.7 Kavitacija propelera 41
3.5.4 Dostupan volumen trupa i nadgrađa 41
3.5.5 Bilanca električne energije 43
3.5.6 Volumen tankova 45
3.5.7 Raspored prostora ratnog broda 47
3.5.8 Mase i centracija 49
3.5.8.1 Mase i vertikalni položaj težišta masa skupina 2,4 i 7 50
3.5.8.2 Masa i vertikalni položaj težišta masa skupine 1 54
3.5.8.2.1 Opterećenje brodske konstrukcije 55
3.5.8.2.2 Dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata 57
3.5.8.2.3 Masa i vertikalni položaja težišta trupa broda 59
3.5.8.3 Masa i vertikalni položaj skupina masa 3,5,6 i 9 61
3.5.8.4 Rekapitulacija masa broda 65
3.5.8.5 Rekapitulacija vertikalnog položaja težišta broda 65
3.5.9 Zahtijevani volumen / površina trupa i nadgrađa 66
3.5.10 Stabilitet 69
3.5.11 Pomorstvenost 70
3.6 Ograničenja projektnih parametara 73
3.6.1 Ograničenje maksimalne održive brzine 73
3.6.2 Ograničenje električnog opterećenja 74
3.6.3 Ograničenje visine trupa broda 74
3.6.4 Ograničenje zahtijevane površine palube nadgrađa 75
3.6.5 Ograničenje početnog stabiliteta 76
3.6.6 Ograničenje vertikalnih ubrzanja 76
3.6.7 Ograničenje zahtijevane duljine otvorene palube 76
3.6.8 Ograničenje zahtijevane površine otvorene palube 77
3.7 Atributi u projektnom modelu 77
3.7.1 Atribut globalne učinkovitosti ratnog broda 79
3.7.1.1 Općenito o globalnoj učinkovitosti ratnog broda 79
3.7.1.2 Primjeri konceptualnih projektnih modela ratnog broda koji primjenjuju A_{GU} 80
3.7.1.3 Teoretska podloga AHP 87

3.7.1.4 Primjena AHP na projektnom modelu ratnog broda 91
3.7.2 Atribut cijene ratnog broda 99

4 PRIMJENA METODE VIŠEKRITERIJSKE OPTIMIZACIJE ZA DOBIVANJE PREFERIRANIH PROJEKTNIH RJEŠENJA 104
4.1 Teorijska podloga višekriterijske optimizacije 104
4.2 Usporedba metoda višekriterijske optimizacije i odabir povoljnije 105
4.2.1 Višekriterijska optimizacija: NSGA-II algoritam 106
4.2.2 Višekriterijska optimizacija: PP-NRGA algoritam 110
4.2.3 Usporedba metoda i odabir povoljnije 111
4.3 Općenito o genetičkom algoritmu 115
4.4 Operatori genetičkog algoritma 117
4.4.1 Odabir 117
4.4.2 Križanje 120
4.4.3 Mutacija 121

5. TESTIRANJE IZLAZNIH REZULTATA PROJEKTNOG MODELA 123
5.1 Integracija projektnog modela s metodom višekriterijske optimizacije 123
5.2 Opis programa višekriterijske optimizacije 126
5.3 Stabilnost i pouzdanost izlaznih rezultata višekriterijskog projektnog modela 127
5.4 Usporedba dobivenih rezultata s postojećim projektnim rješenjima 131

6. ZAKLJUČAK 136
6.1 Originalni znanstveni doprinos doktorskog rada 137

POPIS LITERATURE 138

PRILOZI :

Prilog 1: Test programskog modula otpora broda po metodi Holtrop 143

Prilog 2: Sheme opcija pogonskog sustava broda u projektnom modelu 144

Prilog 3: Primjer izlaznih parametara samouravnoteženog dijela projekt. modela (dio I) 147

Prilog 4: Primjer izlaznih parametara samouravnoteženog dijela projekt. modela (dio II)150

Prilog 5: Rezultati metoda NSGA-II i PP-NRGA na testnim funkcijama 153

Prilog 6: Značajke opcija pogona projektnog modela višenamjenskog ratnog broda 156

Prilog 7: Proračun matrica usporedbe parova za hijerarhijsku strukturu sa Slike 28 164

Prilog 8: Izlazni rezultati programa Monako PRB (I dio) 165

Prilog 9: Izlazni rezultati programa Monako PRB (II dio) 178

Prilog 10: Izlazni rezultati programa Monako PRB (III dio) 190

BIOGRAFIJA 203

BIOGRAPHY 204

PREDGOVOR

Projektiranje ratnog broda je kompleksan zadatak koji treba rezultirati s projektnim rješenjem određenih karakteristika kako bi se dobila plovna platforma koja će zadovoljiti sve važne taktičko-tehničke zahtjeve. To podrazumijeva dobivanje projekta broda koji će zadovoljiti pojedine projektne kriterije kao što je postizanje potrebne brzine, stabiliteta u postavljenim granicama, pomorstvenosti, čvrstoće, doplova, autonomnosti, udarne moći kroz instalirano naoružanje te značajke preživljavanja kroz smanjenu magnetsku, radarsku, infracrvenu i hidroakustičku zamjetivost. Iz navedenog je vidljivo teško postizanje optimalnog projektnog rješenja koje bi imalo maksimalne značajke po svim gore navedenim kriterijima, pa se zbog toga pribjegava dobivanju preferiranih projektnih rješenja koja predstavljaju kompromis u zadovoljavanju pojedinih projektnih kriterija. U cilju dobivanja preferiranih projektnih rješenja tijekom razvoja nove plovne platforme izrađuje se niz studija koje rezultiraju s više konceptualnih projekata koji se zatim uspoređuju te u konačnici određuje jedno koje se detaljno razrađuje. U dosadašnjem pristupu projektiranja ratnog broda u Republici Hrvatskoj projektanti su se značajno oslanjali na sličan brod i na proces projektiranja primjenom klasične projektne spirale kojim se iterativno dolazilo do boljeg projekta pokušavajući poboljšati pojedine značajke broda. Rezultat takvog rada bio je dobivanje projekata koji nisu uvijek garantirali dobivanjem dobrih i zadovoljavajućih projekata, a razmatranje pojedinih značajki broda su bila neovisna i nedovoljno sintetizirana. Intencija ovog rada je upravo poboljšanje procesa projektiranja ratnog broda na konceptualnoj razini kako bi se izbjegli gore navedeni nedostatci te dobila preferirana projektna rješenja koja će zadovoljiti postavljene taktičko-tehničke zahtjeve i koja bi bila bolja od onih dobivenih klasičnim načinom projektiranja. U svrhu postizanja tog cilja kroz izradu ovog rada razvit će se konceptualni projektni model generičkog tipa višenamjenskog ratnog broda primjenom višekriterijske optimizacije. Model će uključiti definiranje samouravnoteženog dijela koji će rješavati brodograđevni dio problema kroz dobivanje broda minimalne istisnine, ograničenja projektnog prostora koji će definirati granice projektnog prostora, projektne varijable koje će se varirati, te atribute preko kojih će se uspoređivati generirani projekti u cilju dobivanja Pareto skupa preferiranih projektnih rješenja. Razvojem navedenog projektnog modela postiglo bi se kontrolirano projektiranje ratnog broda koje bi dalo bolja projektna rješenja od postojećih, a projektni model bi se uz nisku razinu korekcije mogao primijeniti za projektiranje više tipova ratnih i civilnih brzih brodova.

SAŽETAK

Cilj ovog rada je razvijanje naprednog, višekriterijskog modela konceptualnog projekta višenamjenskog ratnog broda prilagođenog uvjetima Jadranskog mora. Matematički model broda se temelji na parametarskim jednadžbama primjerenim generičkom tipu (koeficijenti forme, odnosi glavnih izmjera broda). Model konceptualnog projekta sastoji se od dvije komponente: samouravnoteženog dijela i komponente za višekriterijsku optimizaciju i generiranje Pareto plohe. Samouravnotežena komponenta ima za cilj generiranje uravnoteženih projektnih rješenja s obzirom na zahtijevanu brzinu, površine/volumene, mase trupa, brodske opreme i naoružanja, potrebnu električnu energiju, te proračunava početni stabilitet i pomorstvenost. Ona rješava brodograđevni dio problema, dok druga komponenta modela je u funkciji filtriranja projektnih rješenja, višekriterijskog ocjenjivanja projekata, te identificiranja Pareto skupa projektnih rješenja koji će biti prihvatljivi za odabir konačnog projekta. Funkcije cilja (atributi) u optimizacijskom modulu sastoje se od atributa cijene i atributa globalne učinkovitosti broda. Atribut cijene životnog ciklusa broda pored cijene gradnje broda sadrži i cijenu koštanja posade, goriva, maziva, te cijenu održavanja broda za vrijeme njegovog životnog ciklusa. Globalna učinkovitosti sastoji se od pojedinih odabranih značajki broda, koje najviše utječu na učinkovitost broda kao što su brzina, vrste i količine oružnih sustava koje će biti instalirane na brodu, brzine, doplova, autonomnosti i zamjetivosti. Ključan dio optimizacijskog modula pored Pareto metode za određivanje preferiranih projekata je i skup ograničenja koja definiraju ograničeni prostor izvodivih projekata. Osnovni projektni model je u dovoljnoj mjeri koncipiran kao generički model da se sa sigurnošću može procijeniti njegovo korištenje i za druge potrebe kao što je projektiranje drugih tipova ratnog broda, te projektiranje civilnih brodova što je bio jedan od ciljeva izrade ovog rada. Model će posebno biti koristan za projektiranje manjih ratnih višenamjenskih brodova, obalnih i odobalnih ophodnih brodova, za akvatorije zatvorenih mora kao što je Jadran. Pored navedenog, projektni model će se koristiti za rekonstrukciju postojećih brodova u cilju dobivanja najpovoljnijih opcija rekonstrukcije. Očekuje se da će projektni model omogućiti dobivanje poboljšanih projekata te ubrzati proces projektiranja broda u fazi razvoja konceptualnih rješenja koja je ključna za odabir konačnog rješenja i njegovo detaljno projektiranja kroz izradu glavnog projekta.

SUMMARY

The main goal of this work is to develop an advanced multicriteria model of multipurpose naval ship conceptual design suitable for Adriatic Sea environment. The mathematical model of ship will be represented by parametric equations (form coeffcients, main dimensions ratios) that are appropriate for generic naval ship project model. The model will be composed of two main parts: self-balanced component and second part for generation of Pareto set of optimal solutions. The first component generates balanced projects regarding the speed, deck area / volumes, masses, needed electrical power, and calculate the initial stability and seakeeping characteristics of ship. While first component solves the shipbuilding related matters, the second component filter projects based on the constraints, do multicriterial evaluations of projects, and identification of Pareto optimal set. Goal functions (attributes) in optimization module are composed of cost and measure of global effectiveness of a ship. Cost covers production cost and cost related to expenditure for crew, fuel, lubricants, and maintenance during whole life cycle of ship. Global measure of effectiveness comprises of specific important ship characteristics which mostly influence the ship effectiveness such as speed, quantity and type of armament that will be installed onboard, range, autonomy and signatures of ship. Besides the Pareto method for getting preferred projects, important parts of the optimization module are constraints that define space of feasible projects. The main multiciteria project model is generic and it is envisaged that it will be used for design of other types of warships, as well as certain type of merchant ships. It is specifically suitable for design of small multipurpose warships corvette size, coastal and offshore patrol vessels for closed seas such as Adriatic. In addition, the project model could be used for reconstruction of existing ships with purpose of getting the best possible reconstruction option. It is expected that project model will enable getting the better projects and accelerate the design process in terms of concept projects development which is key for selection of the final project and development of its detail design.

KLJUČNE RIJEČI

- višenamjenski ratni brod
- korveta
- konceptualni projektni model
- višekriterijska optimizacija
- Pareto metoda
- genetički algoritam
- mutacija
- križanje
- selekcija
- NSGA-II metoda
- PPNRGA metoda
- Saatyeva metoda odabira najboljih rješenja
- samouravnoteženi model

KEY WORDS

- multipurpose naval ship
- corvette
- conceptual project model
- multi criteria optimization
- Pareto method
- genetic algorithm
- mutation
- cross over
- selection
- NSGA-II method
- PPRNGA method
- Saaty method of selection of the best solution
- self balanced model

POPIS OZNAKA I KRATICA

α_F	nagib boka broda na FP, [º]
α_M	srednji kut nagiba boka broda, [º]
α_S	nagib boka broda na glavnom rebru, [º]
α_{SKA}	nagib boka kaštela, [º]
α_3	maksimalni nagib boka broda na 0.15 LWL od FP, [º]
β	koeficijent korekcije omjera panela, [-]
Φ_Z	koeficijent momenta otpora presjeka, [-]
Δ	masa istisnine, [t]
$\Delta(gen, x)$	operator nejednolike mutacije, [-]
∇	volumen istisnine, [m^3]
η_R	propulzijski rotativni koeficijent, [-]
η_S	koeficijent prijenosa, [-]
Φ	koeficijent u izrazu za P_{dlb}, [-]
$\varphi_i(x)$	opći oblik funkcije cilja u optimizacijskoj PP-NRGA metodi, [-]
γ	koeficijent korekcije zbog zakrivljenosti oplate, [-]
γ_W	specifična gustoća pitke vode, [t/m^3]
γ_F	specifična gustoća goriva propulzije, [t/m^3]
$\lambda_{\max}$	maksimalna vrijednost vektora nul vrijednosti matrice A, [-]
θ_D	nagib dna broda na glavnom rebru u odnosu na ravninu osnovice, [º]
θ_B	srednji nagib oplate dna u odnosu na osnovicu za određeni presjek broda, [º]
θ_S	srednji nagib oplate boka u stupnjevima na određenom presjeku broda, [º]
θ_B	dinamički kut trima broda, [º]
σ_u	minimalna vlačna čvrstoća materijala osovinskog voda, [N/mm^2]
σ_s	granica razvlačenja materijala, [N/mm^2]

A	potencijalno nekonzistentna matrica usporedbe parova kriterija, [-]
A_1	koeficijent u izrazu za vjerojatnost odabira jedinke, [-]
AA	protuzračni
A_{AOD}	dostupna površina otvorene palube, [m^2]
AAS	protuzrakoplovni obrambeni sustav
A_b	površina strukture bokova i nadvodnog dijela zrcala, [m^2]
A_{BT}	površina poprečnog presjeka bulba, [m^2]
A_{DA}	dostupna površina nadgrađa, [m^2]
A_{DIE}	zahtjevana površina usisa/ispuha, [m^2]
A_{DL}	zahtjevan površina za život i rad posade u nadgrađu, [m^2]
A_{gp}	površina glavne palube, [m^2]
A_{DR}	ukupna zahtjevana površina nadgrađa, [m^2]
A_{dz}	površina dna i zrcala do visine gaza, [m^2]
$\frac{A_E}{A_0}$	omjer površina vijka, [-]
A_f	minimalna površina poprečnog presjeka ukrepe, [cm^2]
A_{GU}	(OMOE - „owerall measure of effectivness“) atribut globalne učinkovitosti ratnog broda, [-]
A_{HA}	ukupna dostupna površina paluba trupa broda, [m^2]
A_{HAB}	zahtjevana površina po članu posade u trupu, [m^2]
A_{HIE}	zahtjevana površina usisa/ispuha kroz palube u trupu, [m^2]
A_{HL}	ukupna zahtjevana površina za smještaj posade u trupu, [m^2]
A_{HPR}	zahtjevana površina za smještaj naoružanja, zapovjedno informacijske i komunikacijske opreme u trupu, [m^2]
A_{HR}	ukupna zahtjevana površina paluba u trupu, [m^2]
A_{HS}	zahtjevana površina skladišta u trupu, [m^2]
A_{HSF}	zahtjevana površina brodskih funkcija u trupu, [m^2]
A_k	minimalna površina poprečnog presjeka kobilice, [cm^2]
A_K	površina konstrukcijskog segmenta, [m^2]
A_M	površina glavnog rebra do vodne linije, [m^2]

A_{pp}	površina strukture poprečnih pregrada, [m^2]
A_{RAAR}	zahtjevana površina opreme motrilačkog i ciljničkog radara, [m^2]
A_{RAG}	zahtjevana površina za smještaj pomoćnog diesel agregata za nuždu, [m^2]
A_{RAIS}	zahtjevana povrpina PZO sustava, [m^2]
A_{RASA}	zahtjevana površina borbenog kompleta PZO sustava, [m^2]
A_{RASH}	zahtjevana površina oružnih sustava u trupu, [m^2]
A_{RASM}	zahtjevana površina protubrodskog raketnog sustava, [m^2]
A_{RC4IH}	zahtjevana površina zapovjedno informacijske i komunikacijske opreme u trupu, [m^2]
A_{RCR}	zahtjevana površina upravljačke kabine, [m^2]
A_{RDE}	zahtjevana površina palubne opreme, [m^2]
A_{RDEC}	zahtjevana površina mamaca, [m^2]
A_{REI}	ukupna zahtjevana površina usisa ispuha, [m^2]
A_{RFC}	površina palube kaštela, [m^2]
A_{RFFE}	zahtjevana površina protupožarne opreme u trupu, [m^2]
A_{RHH}	zahtjevana površina komunikacijskih hodnika u trupu broda, [m^2]
A_{RHS}	zahtjevana površina hodnika u nadgrađu, [m^2]
A_{RHSG}	zahtjevana površina vezana za hidroakustičku zamjetivost, [m^2]
A_{RIH}	zahtjevana površina oblaganja i izolacije u trupu, [m^2]
A_{RIS}	zahtjevana površina izolacije i oblaganja u nadgrađu, [m^2]
A_{RLT}	zahtjevana površina lakog torpeda, [m^2]
A_{RMA}	zahtjevana površina jarbola, [m^2]
a_{RMS}	vertikalno ubrzanje izraženo kao RMS vrijednost, [g]
A_{RMSG}	zahtjevana površina sustava smanjenja magnetske zamjetivosti, [m^2]
A_{RNBC}	zahtjevana površina NBC sustava, [m^2]
A_{ROD}	zahtjevana površina otvorene palube, [m^2]
A_{RRR}	zahtjevana površina radio kabine, [m^2]
A_{RSDH}	zahtjevana površina krmene palubne kućice, [m^2]
A_{RSG}	zahtjevana površina pramčanog topa, [m^2]
A_{RSR}	zahtjevana površina kormilarnice s navigacijskim stolom, [m^2]
A_{RSRO}	zahtjevana površina mornarskog salona u trupu, [m^2]
A_{RTH}	zahtjevana površina sanitarnih prostora u trupu, [m^2]
A_{RTS}	zahtjevana površina sanitarnih prostora u nadgrađu, [m^2]

A_{RWS}	zahtjevana površina brodske radionice, [m^2]
A_{SDC}	zahtjevana površina opreme SDC, [m^2]
ASMS	protubrodski raketni sustav
A_T	uronjena površina zrcala, [m^2]
A_{TA}	ukupna dostupna površina paluba broda, [m^2]
A_{TR}	ukupna zahtjevana površina broda, [m^2]
AUT	autonomnost broda, [dana]
a_V	vertikalno ubrzanje težišta broda (prosjek 1/100 najviših), [g]
A_{WL}	površina vodne linije, [m^2]
a_x	vertikalno ubrzanje na udaljenosti x_a od AP, na statičkoj vodnoj liniji, [g]
B	širina broda na glavnom rebru na vodnoj liniji, [m]
B_A	površina poprečnog presjeka na FP / površina glavnog rebra, [-]
B_C	širina trupa na uzvojnim tangencijalnim točkama, [m]
B_d	širina broda na krmenom zrcalu na palubi čvrstoće, [m]
B_{DT}	širina broda na krmenom zrcalu na vodnoj liniji, [m]
B_{FP}	širina broda na FP, [m]
BGUN	pramčani top
B_{GR}	širina broda na glavnom rebru na palubi čvrstoće, [m]
b_k	minimalna širina oplate kobilice, [mm]
B_m	maksimalna širina broda, [m]
B_N	širina nadgrađa, [m]
N_{CR}	broj članova posade, [-]
B_W	širina trupa broda na vodnoj liniji na LCG, [m]
c	koeficijent u izrazu za period ljuljanja broda, [s/m$^{0.5}$]
C_{AA}	cijena protuzrakoplovnog sustava, [MEUR]
C_{ASMS}	cijena protubrodskog raketnog sustava, [MEUR]
C_B	koeficijent punoće, [-]
C_{BG}	cijena pramčanog topa, [MEUR]
C_{BOPJ}	jedinična cijena brodske opreme i namještaja, [MEUR/t]
C_{BPOJ}	jedinična cijena brodskih pomoćnih strojeva s ugradnjom, [MEUR/t]

C_{BS}	cijena brodskog sustava temeljena na njegovoj masi, [MEUR]
C_{BT}	omjer širine broda na glavnom rebru na vodnoj liniji i gaza broda, [-]
C_{CREW}	cijena posade, [MEUR]
C_{C4IJ}	jedinična cijena zapovjedno informacijske i komunikacijske opreme uključujući cijenu radova, [MEUR/t]
C_{DL}	volumetrijski koeficijent, [-]
C_{ELOPJ}	jedinična cijena električne opreme uključujući ugradnju, [MEUR/t]
C_F	koeficijent otpora trenja u skladu s ITTC-1957 [-]
C_{GORJ}	jedinična cijena goriva, [EUR/l]
C_{FL}	cijena goriva i maziva, [MEUR]
C_{GMB}	koeficijent omjera metacentarske visine i širine broda, [-]
C_I	indeks nekonzistentnosti matrice usporedbe parova kriterija, [-]
C_{LB}	omjer duljine broda na vodnoj liniji i širine broda na glavnom rebru na VL, [-]
C_{LTOR}	cijena lakog torpeda, [MEUR]
C_{IT}	koeficijent redukcije momenta inercije vodne linije, [-]
C_{LH}	omjer duljine broda na vodnoj liniji i visine trupa broda na glavnom rebru, [-]
C_M	koeficijent glavnog rebra, [-]
C_{MN}	cijena održavanja broda, [MEUR]
C_{MNP}	postotak cijene gradnje i opremanja broda u izrazu za cijenu održavanja broda, [%]
C_{MSJ}	marža brodogradilišta kao frakcija cijene gradnje i opremanja broda, [%]
C_{NDJ}	jedinična cijena materijala nadgrađa koja uključuje i cijenu rada, [MEUR/t]
C_{MTRJ}	jedinična cijena materijala trupa koja uključuje i cijenu rada, [MEUR/t]
C_{OPPJ}	jedinična cijena osovinskog voda i propulzora uključujući i cijenu rada, [MEUR/t]
C_P	uzdužni prizmatički koeficijent, [-]
C_{PROJ}	jedinična cijena sustava propulzije (bez osovinskog voda i propulzora) uključujući i cijenu rada, [MEUR/t]

C_{PROP}	koeficijent ovisan o broju propulzora, [-]
C_{RD}	omjer duljine kaštela i duljine broda na vodnoj liniji, [-]
C_{SJ}	profit brodogradilišta, [MEUR]
C_{TLC}	cijena ukupnog životnog ciklusa broda, [MEUR]
C_{TR}	omjer površine zrcala i površine glavnog rebra, [-]
C_{WP}	koeficijent vodne linije, [-]
C_{WS}	koeficijent oplakane površine $C_{WS} = S/(L_{WL} \cdot \nabla)^{0.5}$, [-]
C_1	cijena materijala i gradnje trupa i nadgrađa, [MEUR]
C_2	cijena propulzijskog sustava uključujući cijenu ugradnje, [MEUR]
C_3	cijena elektroenergetskog sustava uključujući cijenu ugradnje, [MEUR]
C_4	cijena zapovjedno informacijskih i komunikacijskih sustava s ugradnjom, [MEUR]
C_5	cijena brodskih pomoćnih sustava s ugradnjom, [MEUR]
C_6	cijena brodske opreme i namještaja s ugradnjom, [MEUR]
C_7	cijena brodskog naoružanja s ugradnjom, [MEUR]
D_C	omjer istisnine i duljine broda, [-]
d_f	minimalna visina rebrenica u simetralnoj ravnini, [mm]
D_{MAX}	maksimalni promjer propelera, [m]
Do	optimalni promjer propelera, [m]
D_P	promjer propelera, [m]
d_p	promjer osovinskih vodova, [mm]
E	parametar u izrazu za P_{wl}, [kN/m^2]
E_{DMF}	projektna margina snage, [-]
E_{FMF}	margina budućeg povećanja snage, [-]
EI	jedinična matrica, [-]
EMS	elektromagnetska zamjetivost
E_N	doplov broda, [NM]
END	doplov
f	faktor snage, [-]
F_{BI}	koeficijent u izrazu za koeficijent sustrujanja, [-]
f_d	koeficijent tlaka forme broda za jednotrupce, [-]

$f_i(x)$	opći oblik funkcija atributa u optimizacijskoj metodi PP-NRGA, [-]
$Fitness(x_i)$	vrijednosti funkcije cilja jedinki u populaciji, [-]
$f_m(x)$	funkcije atributa kod višekriterijske optimizacije, [-]
Fn	Froudeov broj, [-]
F_{RAVG}	prosječna potrošnja goriva uzimajući u obzir trošenje postrojenja, [g/kWh]
f_σ	koeficijent ograničenja savojnog naprezanja ukrepa i oplate, [-]
f_z	koeficijent vertikalne distribucije tlaka, [-]
f_{wb}	koeficijent gustoće pregrađivanja, [-]
F_0	nadvođe broda na AP, [m]
$f1$	koeficijent korekcije potrošnje goriva zbog netočnosti instrumenata, [-]
F_{10}	nadvođe broda na LPP/2, [m]
F_{20}	nadvođe broda na FP, [m]
F_∇	$Fn \cdot \sqrt{Mo}$, [-]
g	konstatnta gravitacije, [m/s^2]
G_{AMAF}	specifična masa goriva, [m3/t]
gen	trenutna generacija
gen_max	maksimalan broj generacija
$g_j(x)$	jednakosne funkcije ograničenja, [-]
G_M	metacentarska visina, [m]
G_o	opseg presjeka broda na LCG na točkama koje definiraju tangentu od 50 stupnjeva na rebro u odnosu na osnovicu, [m]
HAS	hidroakustička zamjetivost
h_b	visina opterećenja (stupca vode) i to za oplatu se uzima udaljenost od točke na 1/3 visine oplate od njenog donjeg ruba do visine pregrade na boku, a za ukrepe udaljenost od sredine ukrepe do visine pregrade na boku broda, [m]
h_B	položaj težišta površine poprečnog presjeka bulba u odnosu na osnovicu, [m]
HC	satna potrošnja goriva, [t/h]
H_{IP}	prosječna visina između paluba, [m]

H_{ME}	visina glavnih strojeva, [m]
$h_k(x)$	nejednakosne funkcije ograničenja
$H_{MB\min}$	minimalna visina strojarnice, [m]
H_{PRT}	prosječna visina broda, [m]
H_{rm}	koeficijent u izrazu za hidrodinamički tlak, [m]
H_{T0}	visina trupa broda na krmenom perpendikularu, [m]
H_{T10}	visina trupa broda na LPP/2, [m]
$H_{T10\min}$	minimalna visina trupa na glavnom rebru, [m]
H_{T20}	visina trupa broda na pramčanom perpendikularu, [m]
H_w	ograničenje valne visine iznad projektnog gaza, [m]
$H_{1/3}$	značajna valna visina, [m]
IRS	IC zamjetivost
iE	pramčani kut vodne linije mjeren između simetrale i tangente na VL u točki 1% LWL iza FP, [º]
I_{xx}	moment inercije vodne linije oko uzdužne osi, [m^4]
$(1+k_1)$	koeficijent forme trupa, [-]
$(1+k_2)$	koeficijent otpora privjesaka, [-]
J	$U_a/(n \cdot D_P)$, [-]
K_B	udaljenost od osnovice do težišta uzgona broda, [m]
k_c	iskustveni koeficijent cijene brodskog sustava, [MEUR/t]
K_G	vertikalni položaj težišta broda, [m]
K_{GMARG}	margina K_G, [m]
k_r	koeficijent forme valnog tlaka za jednotrupne brze brodove, [-]
k_s	koeficijent čelika povišene čvrstoće, [-]
K_T	$T/(\rho \cdot n^2 \cdot D_P{}^4)$, [-]
$K_{TK}(i)$	konačni težinski koeficijenti u globalnoj učinkovitosti, [-]
K_{VKL}	koeficijent omjera brzine i korijena duljine vodne linije, [čv/(ft)$^{0.5}$] ili [0,9318((m/s)/(m)$^{0.5}$)]
L_{CB}	udaljenost težišta istisnine od glavnog rebra (%LWL/2), [%]
L_{OA}	duljina broda preko svega, [m]
L_{PP}	duljina broda između perpendikulara, [m]

L_R	parametar u izrazu $(1+k_1)$, [-]
L_R	proračunska duljina broda po pravilima Lloyd Register, [m]
L_S	duljina nadgrađa, [m]
L_{WL}	duljina vodne linije, [m]
LTOR	torpedno naoružanje
MEUR	milijun Eura
M_{GRE}	razlika mase broda u dvije uzastopne iteracije tijekom procesa uravnoteženja broda, [%]
M_K	masa pojedinog segmenta brodske konstrukcije (paluba, bok, dno), [t]
Mo	M okruglo, $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, [-]
M_{PO}	pretpostavljena vrijednost mase broda, [t]
MSS	maksimalna održiva brzina [m/s]
N	broj projektnih rješenja, [-]
n	broj strojeva u pogonu, broj okretaja propelera, [o/min]
n_b	broj poprečnih pregrada, [-]
N_{DG}	broj instaliranih diesel agregata na brodu, [-]
NBC	nuklearno, kemijsko, biološki
N_{JLC}	broj godina životnog ciklusa, [-]
N_{PROP}	broj propulzora, [-]
OANS	opcije autonomnosti broda
OPENS	opcije doplova broda
OIRS	opcije IC zamjetivosti
OMAGS	opcija magnetske zamjetivosti
OMAT	opcije materijala trupa i nadgrađa
ONBC	opcije NBC zamjetivosti
OASMS	opcije protubrodskog raketnog sustava
OPSNS	opcije pogonskog sustava broda
OBGNS	opcije pramčanog topa
OAAS	opcije PZO sustava
ORS	opcije radarske zamjetivosti
OLTOR	opcije torpednog naoružanja
P	projektni tlak, [kN/m^2]

P_{bh}	tlak na vodonepropusnim pregradama, [kN/m^2]
P_C	koeficijent propulzije, [-]
P_{dlb}	udarno opterećenje na dno broda, [kN/m^2]
P_{dsl}	udarno opterećenje na bokove broda uslijed udaranja, [kN/m^2]
P_E	efektivna snaga pokretanja broda odgovarajućom brzinom, [kW]
P_{EBAVG}	prosječna zahtijevana snaga motora na osovini kod ophodne brzine, [kW]
P_f	tlak uslijed udaranja na pramčani dio broda na vodnoj liniji, [kN/m^2]
P_h	hidrostatički tlak na oplatu broda, [kN/m^2]
P_i	vjerojatnost preživljavanja jedinke, [-]
P_{IDG}	snaga jednog instaliranog diesel agregata, [kW]
P_{ITOT}	konačna zahtijevana instalirana električna snaga, [kW]
P_m	hidrodinamički tlak valova na oplatu broda, [kN/m^2]
P_{MCR}	maksimalna kontinuirana snaga, [kW]
P_{PAT}	snaga potrebna za postizanje ophodne brzine, [kW]
P_p	hidrodinamički valni tlak, [kN/m^2]
P_S	koeficijent „tlaka odabira“ jedinke, [-]
P_{SH}	snaga na osovini pogonskog stroja, [kW]
PuQ	kombinirana populacija projekata, [-]
P_{wl}	tlak na izloženu palubu i međupalube, [kN/m^2]
P_{RAAS}	zahtijevana električna snaga protuzrakoplovnog sustava, [kW]
P_{RACS}	zahtijevana električna snaga sustava klimatizacije, [kW]
P_{RANC}	zahtijevana električna snaga sidrenog sustava, [kW]
P_{RAMB}	zahtijevana električna snaga opreme u ambulanti, [kW]
P_{RAMBAL}	zahtijevana električna snaga naplavljivanja komore streljiva i balasta, [kW]
P_{RAPROP}	zahtijevana električna snaga pomoćne propulzije, [kW]
P_{RASM}	zahtijevana električna snaga protubrodskog raketnog sustava, [kW]
P_{RBGUN}	zahtijevana električna snaga pramčanog topa, [kW]
P_{RBSON}	zahtijevana električna snaga pramčanog sonara, [kW]

P_{RCE}	zahtijevana električna snaga komunikacijske opreme, [kW]
P_{RCS}	zahtijevana električna snaga komunikacijskih sustava na brodu, [kW]
P_{RC4I}	zahtijevana električna snaga zapovjedno informacijske i kom. opreme [kW]
P_{RDEC}	zahtijevana električna snaga mamaca ciljeva, [kW]
P_{RDG}	zahtijevana snaga po jednom diesel agregatu, [kW]
P_{RDGS}	zahtijevana električna snaga sustava smanjenja magnetske zamjetivosti, [kW]
P_{RDLS}	zahtijevana električna snaga detektora laserskog signala, [kW]
P_{RDR}	zahtijevana električna snaga sustava kaljuže i drenaže, [kW] [kW]
P_{RDRS}	zahtijevana električna snaga detektora radarskog signala, [kW]
P_{REES}	zahtijevana električna snaga elektroenergetskog sustava broda, [kW]
P_{RFC}	zahtijevana električna snaga opreme za čuvanje i hlađenje hrane, [kW]
P_{RFD}	zahtijevana električna snaga sustava upravljanja paljbom, [kW]
P_{RFFS}	zahtijevana električna snaga protupožarnog sustava, [kW]
P_{RFH}	zahtijevana električna snaga sustava rukovanja gorivom, [kW]
P_{RHW}	zahtijevana električna snaga grijanja tople vode, [kW]
P_{RHSS}	zahtijevana električna snaga grijanja brodskih prostora, [kW]
P_{RKITC}	zahtijevana električna snaga opreme u kuhinji, [kW]
P_{RLT}	zahtijevana električna snaga torpednog naoružanja, [kW]
P_{RNBC}	zahtijevana električna snaga NBC sustava, [kW]
P_{RNR}	zahtijevana električna snaga navigacijskih radara, [kW]
P_{ROFR}	zahtijevana električna snaga uređaja u časničkom i dočasničkom salonu, [kW]
P_{RPC4IA}	zahtijevana električna snaga sustava propulzije, zapovjedno informacijskih sustava i naoružanja, [kW]
P_{RPEW}	zahtijevana električna snaga pulta za elektroničku borbu, [kW]
P_{RPLT}	zahtijevana električna snaga pulta torpednog naoružanja, [kW]
P_{RPROP}	zahtijevana električna snaga sustava propulzije, [kW]
P_{RPT}	zahtijevana električna snaga sustava za vez i tegalj, [kW]
P_{RRCS}	zahtijevana električna snaga sustava daljinskog upravljanja i signalizacije, [kW]
P_{RRNE}	zahtijevana električna snaga preostale navigacijske opreme, [kW]

P_{R5}	zahtijevana električna snaga brodskih pomoćnih sustava, [kW]
P_{RSER}	zahtijevana električna snaga za osiguranje usluga na brodu, [kW]
P_{RSEW}	zahtijevana električna snaga za manipulaciju crnim i sivim vodama, [kW]
P_{RSS}	zahtijevana električna snaga potrebna za funkcioniranje pojedinih brodskih prostora, [kW]
P_{RSTS}	zahtijevana električna snaga kormilarskog sustava, [kW]
P_{RTOT}	ukupna zahtijevana električna snaga na brodu, [kW]
P_{RVEN}	zahtijevana električna snaga ventilacije brodskih prostora, [kW]
P_{RWAS}	zahtijevana električna snaga sustava orošavanja broda, [kW]
P_{RWS}	zahtijevana električna snaga opreme u radionici i skladištima, [kW]
R_A	korelacijski otpor model-brod, [kN]
R_{APP}	otpor privjesaka, [kN]
R_B	otpor bulba, [kN]
R_F	otpor trenja u skladu s ITTC-1957 izrazom, [kN]
R_T	ukupni otpor broda, [kN]
R_{TR}	otpor krmenog zrcala, [kN]
R_W	otpor valova za 0.4 < Fn < 0.55, [kN]
R_{W-A}	otpor valova za Fn < 0.4, [kN]
RS	radarska zamjetivost
R_{W-B}	otpor valova za Fn > 0.55, [kN]
Q	dječja populacija projekata, [-]
q	maksimalna nul vrijednost matrice W, [-]
q_K	masa konstrukcijskog segmenta po jedinici površine, [t/m^2]
q_m	specifična potrošnja goriva kod nominalne snage stroja, [g/kWh]
q	specifična potrošnja goriva, [g/kWh]
S	oplakana površina, [m^2]
s	raspon ukrepa, [mm]
S_{APP}	oplakana površina privjesaka, [m^2]
SFC_{EPE}	specifična potrošnja goriva kod ophodne brzine, [g/kWh]
SPA	brzina ophodnje, [čv]

SDC	borbena otpornost broda
t	koeficijent smanjenog poriva, [-]
T	gaz broda mjeren od osnovice koja prolazi najnižom točkom rebra najveće površine do vodne linije, [m]
T_T	gaz broda na krmenom zrcalu, [m]
T_F	gaz na FP, [m]
t_k	minimalna debljina oplate kobilice, [mm]
t_p	debljina oplate trupa i nadgrađa, [mm]
T_S	period skladištenja, [dana]
T_T	gaz zrcala / gaz broda (T)
T_x	gaz broda na presjeku x od AP, [m]
t_w	minimalna debljina hrptenice, uzdužnih jakih nosača i rebrenica, [mm]
T_W	širina zrcala / širina glavnog rebra, [-]
U	brzina broda, [m/s]
Ua	brzina sustrujanja, [m/s]
U_E	ophodna brzina broda, [m/s]
$U(i)$	udaljenosti između projektnih rješenja u prostoru atributa, [-]
U_{MAX}	maksimalna brzina broda, [m/s]
U_S	maksimalna održiva brzina broda, [m/s]
V_{AVL}	volumen trupa iznad vodne linije, [m^3]
V_{BAL}	volumen tankova balasta, [m^3]
$V_{D\max}$	maksimalni volumen nadgrađa razarača, [m^3]
vel_pop	veličina populacije
V_F	volumen goriva propulzije i proizvodnje električne energije na brodu, [m^3]
V_{FC}	volumen pramčanog kaštela, [m^3]
$V_{FP}(i)$	vrijednosti funkcije performansi, [-]
V_{FP}	volumen tankova goriva pogona broda, [m^3]
V_{HA}	ukupni dostupni volumen trupa broda, [m^3]
V_{HR}	ukupni zahtjevani volumen u trupu broda, [m^3]
V_{HT}	ukupni dostupni volumen trupa broda (uključen volumen kaštela), [m^3]
V_{LO}	volumen tankova ulja za podmazivanje, [m^3]

V_{MB}	volumen strojarnice, [m^3]
V_{RS}	ukupni zahtjevani volumen nadgrađa, [m^3]
V_S	volumen nadgrađa, [m^3]
V_{SEW}	volumen tankova otpadnih voda, [m^3]
V_{TA}	ukupni dostupni volumen broda, [m^3]
V_{TK}	ukupni volumen tankova, [m^3]
V_{TOT}	ukupni dostupni volumen broda, [m^3]
V_{TR}	ukupni zahtjevani volumen broda, [m^3]
V_W	volumen tankova pitke vode, [m^3]
V_{WASTE}	volumen tankova otpadnog ulja, [m^3]
w	koeficijent sustrujanja, [-]
W	matrica omjera težinskih koeficijenata, masa brodskog sustava, [t]
W_1	ukupna masa konstrukcije trupa i nadgrađa broda, [t]
W_{101}	masa jarbola, [t]
W_{102}	masa krmene palubne kućice, [t]
W_{103}	masa privjesaka i izdanaka, [t]
W_{104}	masa temelja u nadgrađu i na otvorenim palubama, [t]
W_{105}	masa konstrukcije trupa i nadgrađa broda bez privjesaka i izdanaka, jarbola, temelja na otvorenoj palubi i krmene palubne kućice, [t]
W_{106}	masa nadgrađa, [t]
W_2	ukupna masa pogonskog sustava broda, [t]
W_{201}	masa osovinskih vodova, [t]
W_{202}	masa pomoćnog propulzora, [t]
W_{203}	masa propulzora, [t]
W_{204}	masa ostalih dijelova pogonskog sustava (ležajevi, brtvenice), [t]
W_{205}	masa propelera s promjenjivim usponom krila, [t]
W_{207}	masa propelera s fiksnim krilima, [t]
W_{210}	masa glavnih i pomoćnih strojeva, [t]
W_{2P}	masa propulzijskog sustava bez osovinskih vodova i propulzora, [t]
W_3	ukupna masa elektro energetskog sustava broda, [t]
W_{301}	masa elektrokemijskih izvora električne energije, [t]
W_{302}	masa elektromotornih pogona, [t]
W_{303}	masa električne rasvjete, [t]

W_{304}	masa ispravljača, pretvarača, transformatora i razvoda električne en., [t]
W_{305}	masa kabela i nosača kabelskih trasa, [t]
W_{307}	masa sustava smanjenja magnetske zamjetivosti („Degausing“), [t]
W_4	ukupna masa zapovjedno informacijskih i komunikacijskih sustava, [t]
W_{401}	masa ciljničkog radara, [t]
W_{402}	masa antena navigacijskih radara, [t]
W_{403}	masa elektro optičkog sustava, [t]
W_{404}	masa detektora laserskog signala, [t]
W_{405}	masa detektora radarskog signala, [t]
W_{406}	masa komunikacijske opreme, [t]
W_{407}	masa mamaca ciljeva, [t]
W_{408}	masa motrilačkog radara, [t]
W_{409}	masa opreme ciljničkog radara, [t]
W_{410}	masa opreme motrilačkog radara, [t]
W_{411}	masa opreme pramčanog sonara, [t]
W_{412}	masa pulta za elektroničku borbu i upravljanje mamcima, [t]
W_{413}	masa ostale navigacijske opreme, [t]
W_{414}	masa pulta navigacijskog radara, [t]
W_{415}	masa pramčanog sonara, [t]
W_{416}	masa pulta sonara i torpednog naoružanja, [t]
W_{417}	masa računala i pulteva sustava upravljanja paljbom, [t]
W_{418}	masa usmjerivača prema cilju, [t]
W_{419}	masa tegljenog sonara, [t]
W_5	ukupna masa brodskih pomoćnih sustava, [t]
W_{501}	masa protupožarnih sustava i opreme, [t]
W_{502}	masa radne brodice, [t]
W_{503}	masa sanitarnog sustava, [t]
W_{504}	masa sustava ventilacije, klimatizacije i filtroventilacije, [t]
W_{505}	masa sustava kormilarenja, [t]
W_{506}	masa sustava morske vode, [t]
W_{507}	masa sustava za smanjenje IC zamjetivosti, [t]
W_{508}	masa NBC sustava, [t]
W_{509}	masa upravljanja brodskom centralom te brodskim alarmom, [t]

W_6	ukupna masa brodske opreme i namještaja, [t]
W_{601}	masa boje i katodne zaštite, [t]
W_{602}	masa brodske ledenice, [t]
W_{603}	masa brodske radionice, [t]
W_{604}	masa izolacije pregradnih stijenki, [t]
W_{605}	masa materijala za lako pregrađivanje i oblaganje, [t]
W_{606}	masa palubne opreme, [t]
W_{607}	masa opreme borbene zaštite, [t]
W_{608}	masa opreme komore streljiva, [t]
W_{609}	masa opreme stambenih prostora, [t]
W_{610}	masa podnica, [t]
W_{611}	masa opreme sanitarnih prostora, [t]
W_{612}	masa desalinizatora i vakuum sustava, [t]
W_7	ukupna masa brodskog naoružanja, [t]
W_{702}	masa opreme AA sustava, [t]
W_{703}	masa AA sustava, [t]
W_{705}	masa opreme protubrodskog raketnog sustava, [t]
W_{706}	masa opreme pramčanog topa, [t]
W_{708}	masa protubrodskog raketnog sustava, [t]
W_{709}	masa pramčanog topa, [t]
W_{710}	masa AA sustava, [t]
W_{711}	masa torpednog naoružanja, [t]
W_9	ukupna varijabilna masa, [t]
W_{901}	masa balasta, [t]
W_{902}	masa goriva, [t]
W_{903}	masa hrane, [t]
W_{904}	masa otpadnog ulja, [t]
W_{905}	masa otpadnih voda, [t]
W_{906}	masa pitke vode, [t]
W_{907}	masa posade, [t]
W_{908}	ukupna masa streljiva svih oružnih sustava na brodu, [t]
W_{909}	masa tekućina, [t]
W_{910}	masa maziva, [t]

W_{912}	masa borbenog kompleta ASMS, [t]
W_{913}	masa borbenog kompleta BGUN, [t]
W_{914}	masa borbenog kompleta LTOR, [t]
W_{915}	masa borbenog kompleta AA, [t]
W_{BP}	masa goriva propulzije, [t]
W_{FE}	masa goriva propulzije, [t]
w_i	težinski koeficijenti kod izračuna A_{GU} ratnog broda, [-]
W_{LS}	masa lakog broda, [t]
W_{MF}	koeficijent margine rasta brodskih masa, [-]
W_{M24}	masa margine, [t]
W_T	ukupna masa broda, [t]
Z	moment otpora presjeka primarnih i sekundarnih ukrepa, [cm^3]
Z_1	vertikalni položaj težišta mase konstrukcije broda, [m]
z	vertikalna koordinata od osnovice na kojoj se izračunava hidrostatički tlak, [m]
Z_{101}	vertikalni položaj težišta jarbola, [m]
Z_{102}	vertikalni položaj težišta mase palubne kućice, [m]
Z_{103}	vertikalni položaj težišta masa privjesaka i izdanaka, [m]
Z_{104}	vertikalni položaj težišta temelja u nadgrađu i na otvorenim palubama, [m]
Z_{105}	vertikalni položaj konstrukcije trupa i nadgrađa broda bez privjesaka i izdanaka, jarbola, temelja na otvorenoj palubi i krmene palubne kućice, [m]
Z_2	vertikalni položaj težišta pogonskog sustava broda, [m]
Z_{201}	vertikalni položaj težišta osovinskih vodova, [m]
Z_{202}	vertikalni položaj težišta pomoćnog propulzora, [m]
Z_{203}	vertikalni položaj težišta FPP i CPP propulzora, [m]
Z_{204}	vertikalni položaj težišta ostalih dijelova pogonskog sustava (ležajevi, brtvenice), [m]
Z_{207}	vertikalni položaj težišta glavnih i pomoćnih strojeva od njihove osnovice, [m]
Z_{210}	vertikalni položaj težišta glavnih i pomoćnih strojeva od osnovice broda, [m]

Z_3	vertikalni položaj težišta masa elektro energetskog sustava broda, [m]
Z_{301}	vertikalni položaj težišta elektrokemijskih izvora električne energije, [m]
Z_{302}	vertikalni položaj težišta elektromotornih pogona, [m]
Z_{303}	vertikalni položaj težišta električne rasvjete, [m]
Z_{304}	vertikalni položaj težišta ispravljača, pretvarača, transformatora, [m]
Z_{305}	vertikalni položaj težišta kabela i kabelskih trasa, [m]
Z_{306}	vertikalni položaj težišta oprema upravljanja brodskom centralom, [m]
Z_{307}	vertikalni položaj težišta sustava smanjenja magnetske zamjetivosti, [m]
Z_{308}	vertikalni položaj težišta diesel agregata za nuždu, [m]
Z_4	vertikalni položaj težišta masa zapovjedno informacijskog i komunikacijskog sustava, [m]
Z_{401}	vertikalni položaj težišta ciljničkog radara, [m]
Z_{402}	vertikalni položaj težišta antena navigacijskih radara, [m]
Z_{403}	vertikalni položaj težišta elektro optičkog sustava, [m]
Z_{404}	vertikalni položaj težišta detektora laserskog signala, [m]
Z_{405}	vertikalni položaj težišta detektora radarskog signala, [m]
Z_{406}	vertikalni položaj težišta komunikacijske opreme, [m]
Z_{407}	vertikalni položaj težišta mamaca ciljeva, [m]
Z_{408}	vertikalni položaj težišta motrilačkog radara, [m]
Z_{409}	vertikalni položaj težišta opreme ciljničkog radara, [m]
Z_{410}	vertikalni položaj težišta opreme motrilačkog radara, [m]
Z_{411}	vertikalni položaj težišta opreme pramčanog sonara, [m]
Z_{412}	vertikalni položaj težišta pulta za elektroničku borbu i upravljanje paljbom, [m]
Z_{413}	vertikalni položaj težišta ostale navigacijske opreme, [m]
Z_{414}	vertikalni položaj težišta pulta navigacijskih radara, [m]
Z_{415}	vertikalni položaj težišta pramčanog sonara, [m]
Z_{416}	vertikalni položaj težišta pulta sonara i torpednog naoružanja, [m]
Z_{417}	vertikalni položaj težišta računala i pulteva za sustav upravljanja mamcima, [m]
Z_{418}	vertikalni položaj težišta usmjerivača prema cilju, [m]
Z_{419}	vertikalni položaj težišta tegljenog sonara, [m]

Z_5	vertikalni položaj težišta masa brodskih pomoćnih sustava, [m]
Z_{501}	vertikalni položaj težišta protupožarnih sustava, [m]
Z_{502}	vertikalni položaj težišta pomoćne brodice, [m]
Z_{503}	vertikalni položaj težišta sanitarnog sustava, [m]
Z_{504}	vertikalni položaj težišta sustava klime i ventilacije, [m]
Z_{505}	vertikalni položaj težišta sustava kormilarenja, [m]
Z_{506}	vertikalni položaj težišta sustava morske vode, [m]
Z_{507}	vertikalni položaj težišta IC sustava, [m]
Z_{509}	vertikalni položaj težišta opreme upravljanja i nadzora, [m]
Z_6	vertikalni položaj težišta masa skupine 6, [m]
Z_{601}	vertikalni položaj težišta boje i katodne zaštite, [m]
Z_{602}	vertikalni položaj težišta brodske ledenice, [m]
Z_{603}	vertikalni položaj težišta opreme brodske radionice i alata, [m]
Z_{604}	vertikalni položaj težišta opreme izolacije i oblaganja, [m]
Z_{605}	vertikalni položaj težišta lakih pregrada, [m]
Z_{606}	vertikalni položaj težišta palubne opreme, [m]
Z_{607}	vertikalni položaj težišta opreme borbene zaštite, [m]
Z_{608}	vertikalni položaj težišta opreme spremišta streljiva, [m]
Z_{609}	vertikalni položaj težišta opreme stambenih prostora, [m]
Z_{610}	vertikalni položaj težišta podnica, [m]
Z_{611}	vertikalni položaj težišta opreme sanitarnih prostora, [m]
Z_{612}	vertikalni položaj težišta desalinizatora i vakuum sustava, [m]
Z_7	vertikalni položaj težišta naoružanja, [m]
Z_{701}	vertikalni položaj težišta pramčanog topa, [m]
Z_{702}	vertikalni položaj težišta opreme PZO sustava, [m]
Z_{705}	vertikalni položaj težišta opreme protubrodskog raketnog sustava, [m]
Z_{708}	vertikalni položaj težišta protubrodskog raketnog sustava, [m]
Z_{710}	vertikalni položaj težišta PZO sustava, [m]
Z_{709}	vertikalni položaj težišta opreme pramčanog topa, [m]
Z_{711}	vertikalni položaj težišta torpednog naoružanja, [m]
Z_9	vertikalni položaj težišta varijabilnih masa, [m]
Z_{901}	vertikalni položaj težišta balasta, [m]
Z_{902}	vertikalni položaj težišta goriva, [m]
Z_{903}	vertikalni položaj težišta zaliha hrane, [m]

Z_{904}	vertikalni položaj težišta otpadnog ulja, [m]
Z_{905}	vertikalni položaj težišta vode za piće, [m]
Z_{906}	vertikalni položaj težišta otpadnih voda, [m]
Z_{907}	vertikalni položaj težišta posade, [m]
Z_{908}	vertikalni položaj težišta streljiva oružnih sustava, [m]
Z_{909}	vertikalni položaj težišta tekućina, [m]
Z_{910}	vertikalni položaj težišta maziva, [m]
Z_{911}	vertikalni položaj težišta varijabilnih masa, [m]
Z_{912}	vertikalni položaj težišta borbenog kompleta ASMS, [m]
Z_{913}	vertikalni položaj težišta borbenog kompleta pramčanog topa, [m]
Z_{914}	vertikalni položaj težišta borbenog kompleta LTOR, [m]
Z_{915}	vertikalni položaj težišta borbenog kompleta AAS, [m]
Z_{bh}	vertikalni položaj težišta poprečnih pregrada, [m]
Z_{dz}	vertikalni položaj težišta strukture dna i zrcala, [m]
Z_{GIR}	visina hrptenice broda, [m]
z_k	vertikalna udaljenost od osnovice do dna broda, [m]
Z_{LS}	vertikalni položaj težišta lakog broda, [m]
Z_{md}	vertikalni položaj težišta glavne palube, [m]
Z_{ts}	vertikalni položaj težišta strukture bokova i nadvodnog dijela zrcala, [m]
x	vektor nul vrijednosti matrice A, [-]
x_a	udaljenost od AP do točke na kojoj se računa vertikalno ubrzanje, [m]
X_{ADECK}	dostupna duljina izložene palube, [m]
x_i	projektne varijable projektnog modela, [-]
$x_i^{(L)}$	donja granica parametara projektnog modela, [-]
$x_i^{(U)}$	gornja granica parametara projektnog modela, [-]
x_i^m	vrijednost mutiranog gena, [-]
X_{FC}	duljina pramčanog kaštela, [m]
x_{LCG}	udaljenost LCG od AP, [m]
X_{MB}	duljina strojarnice, [m]
x^P i x	vektori rješenja višekriterijske optimizacije, [-]

X_{RAA}	zahtjevana duljina AA sustava, [m]
X_{RAN}	zahtjevana duljina sidrenog sustava, [m]
X_{RASM}	zahtjevana duljina ASMS, [m]
X_{RBG}	zahtjevana duljina pramčanog topa, [m]
X_{RDECK}	zahtjevana duljina izložene palube, [m]
X_{RLT}	zahtjevana duljina torpednog naoružanja, [m]
X_{RMAS}	zahtjevana duljina jarbola, [m]
X_{wl}	udaljenost od AP, [m]

POPIS SLIKA

Slika 1. Projektna spirala ratnog broda 2
Slika 2. Profil brzine ratnog broda za zadaću ophodnje i tranzita 14
Slika 3. Struktura višekriterijskog projektnog modela višenamjenskog ratnog broda 19
Slika 4. Dijagram toka samouravnoteženog dijela projektnog modela 23
Slika 5. Primjer poludeplasmankse forme 26
Slika 6. Relativna snaga otpora u odnosu na omjer brzine i drugog korijena iz L_{WL} 27
Slika 7. 3D prikaz brodske forme 28
Slika 8. Geometrija glavnog rebra brodske forme 28
Slika 9. Geometrija zrcala brodske forme 29
Slika 10. Geometrija rebra na 0.15LWL od FP 30
Slika 11. Ulazni kut vodne linije na pramcu 30
Slika 12. Koeficijent sustrujanja 36
Slika 13. Koeficijent smanjenog poriva 37
Slika 14. Relativni rotativni koeficijent 38
Slika 15. Određivanje brzine broda i promjera propelera za zadanu snagu 40
Slika 16. Dostupni volumeni projektnog modela 42
Slika 17. Volumen trupa iznad VL bez pramčanog kaštela 42
Slika 18. Raspored prostora projektnog modela 48
Slika 19. Određivanje vertikalnog položaja težišta pramčanog topa 51
Slika 20. Glavno rebro s primarnim nosačima 59
Slika 21. Nedominirani Pareto front projekta ratnog broda veličine razarača 81
Slika 22. Skup Pareto projektnih rješenja amfibijskog napadnog broda 82
Slika 23. Nedominirani Pareto front temeljen na cijeni, učinkovitosti i riziku 83
Slika 24. Pareto nedomonirani front projektnog modela krstarice 84
Slika 25. Pareto nedominirani front višenamjenskog ratnog broda za litoralne vode 85
Slika 26. Skup Pareto projektnih rješenja za projektni model patrolnog broda 86
Slika 27. Ilustracija hijerarhijske strukture kod primjene AHP 88
Slika 28. Hijerarhijska struktura učinkovitosti ratnog broda 93
Slika 29. Vrijednosti funkcije performansi za ASMS 94
Slika 30. Vrijednosti funkcije performansi za ophodnu brzinu 94
Slika 31. Vrijednosti funkcije performansi za pramčani top 95
Slika 32. Vrijednosti funkcije performansi za torpedno naoružanje 95

Slika 33. Vrijednosti funkcije performansi za maksimalnu održivu brzinu 96
Slika 34. Vrijednosti funkcije performansi za doplov 96
Slika 35. Vrijednosti funkcije performansi za autonomnost 97
Slika 36. Vrijednosti funkcije performansi za hidroakustičku zamjetivost 97
Slika 37. Vrijednosti funkcije performansi AAS 98
Slika 38. Vrijednosti funkcije performansi za IRS, EMS, RS, NBC 98
Slika 39. Komponente cijene životnog ciklusa ratnog broda 99
Slika 40. Primjer „krivulje učenja“ 100
Slika 41. Dijagram toka metode NSGA-II 107
Slika 42. Izračun udaljenosti između pojedinih rješenja na jednom Pareto frontu 108
Slika 43. Ilustracija NSGA-II algoritma 110
Slika 44. Testna funkcija TNK iz [35] 112
Slika 45. Test PP-NRGA metode na testnoj funkciji TNK iz [35] 112
Slika 46. Test NSGA-II metode na testnoj funkciji TNK iz [35] 113
Slika 47. Testna funkcija CTP1 iz [35] 113
Slika 48. Test PP-NRGA metode na testnoj funkciji CTP1 iz [35] 114
Slika 49. Test NSGA-II metode na testnoj funkciji CTP1 iz [35] 114
Slika 50. Osnovna konstrukcija genetičkog algoritma 116
Slika 51. Rulet s pripadnim površinama kromosoma 118
Slika 52. Ilustracija Bakerovog odabira 120
Slika 53. Ilustracija križanja dva kromosoma 121
Slika 54. Ilustracija križanja dva kromosoma s dva presjecišta 121
Slika 55. Dijagram toka integracije projektnog modela i primijenjene metode 125
Slika 56. Forma ulaznih podataka programa MONAKO PRB 127
Slika 57. Konvergencija skupova Pareto projektnih rješenja (za 10 različitih gen.) 128
Slika 58. Konvergencija skupova Pareto projektnih rješenja (za 5 različitih gen.) 128
Slika 59. Stabilnost izlaznih rezultata na tri uzastopna proračuna (300. gen.) 129
Slika 60. Primjer skupa preferiranih Pareto projektnih rješenja 130
Slika 61. Usporedba Pareto preferiranih proj. rješenja s postojećim projektom 132
Slika 62. Usporedba Pareto skupova projektnih rješenja za različite vrijednosti ograničenja vertikalnih ubrzanja 134
Slika 63. Rezultati PP-NRGA i NSGA-II metode s testnim funk. iz [34] (I) 153
Slika 64. Rezultati PP-NRGA i NSGA-II metode s testnim funk. iz [34] (II) 154
Slika 65. Rezultati PP-NRGA i NSGA-II metode s testnim funk. iz [34] (III) 155

POPIS TABLICA

Tablica 1. Zahtjevi za razvoj projektnog modela višenamjenskog ratnog broda 10
Tablica 2. Broj projektnih varijabli, parametara, ograničenja i atributa 18
Tablica 3. Varijable projektnog modela 21
Tablica 4. Glavne izmjere i koeficijenti forme projektnog modela 31
Tablica 5. Mehanička svojstva materijala konstrukcijskih elemenata trupa i nadgrađa 55
Tablica 6. Kriteriji pomorstvenosti za brodsku posadu 72
Tablica 7. Kriteriji pomorstvenosti za trup broda jednotrupca 73
Tablica 8. Intenzitet važnosti kriterija po AHP 88
Tablica 9. Primjer usporedbe parova dva kriterija 90
Tablica 10. Primjer matrice usporedbe parova 90
Tablica 11. Primjer proračuna težinskih koeficijenata iz matrice usporedbe parova 91
Tablica 12. Specifični atributi u atributu globalne učinkovitosti A_{GU} broda 92
Tablica 13. Usporedba projekta A i najbližeg projekta s Pareto fronte 133
Tablica 14. Usporedba projekta A s najbližim projektima različitih vertikalnih ubrzanja 135

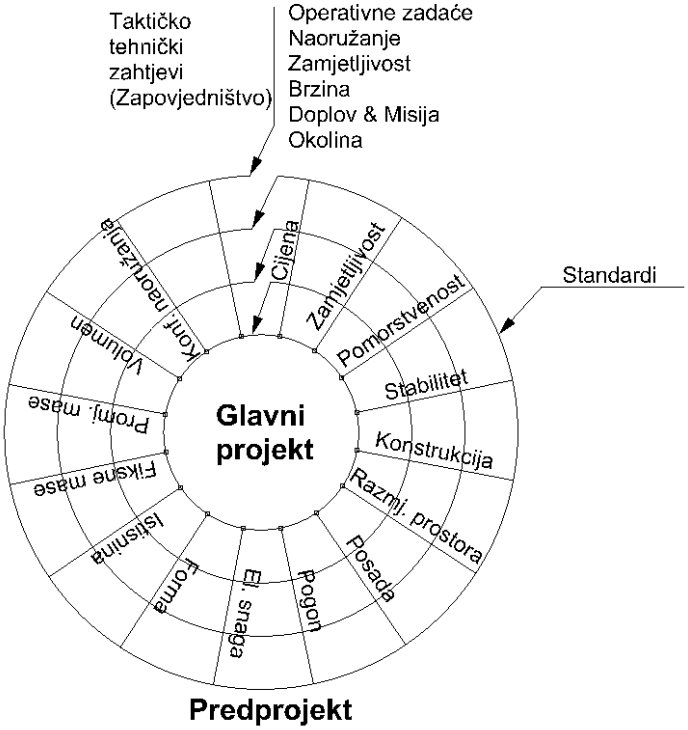
1 UVOD

Projektiranje ratnog broda je složen i kompleksan zadatak projektanta s obzirom na činjenicu da je ratni brod objekt koji se sastoji od niza podsustava koji su njegov dio i koji su međusobno ovisni, te predstavlja jedan od najsloženijih proizvoda. Glavni cilj projektiranja ratnog broda je postizanje projekta koji će zadovoljiti postavljene taktičko-tehničke zahtjeve koje određuje vlasnik broda odnosno naručitelj. Taktičko-tehnički zahtjevi su rezultat izrade studija koje prethode ili su dio procesa projektiranja ratnog broda. To je taktička studija koja se bavi raščlambom taktike uporabe postojećih pomorskih snaga, a njezin rezultat je identificiranje nedostataka u primjeni taktičkih scenarija. Pored taktičke studije izrađuju se studija koncepcijskih rješenja, čiji cilj je razvijanje više koncepcijskih rješenja koja će odgovoriti na nastalu potrebu (nedostatke). Slijedi studija izvedivosti kojom se dokazuje izvedivost predloženih rješenja, te se vrši njihova usporedba. Ratni brod je vrlo skup proizvod i navedene opsežne studije rezultiraju s velikim brojem konceptualnih projekata prije nego se odabere varijanta koja se razrađuje u daljnjem procesu detaljnog projektiranja broda. Navedene studije su usko vezane i za ostale strategijske obrambene dokumente neke zemlje koje daju određene smjernice u planiranju obrambenih aktivnosti. Najkreativniji dio u projektiranju ratnog broda je onaj koji se odnosi na razvijanje konceptualnog projekta, dok je preostali dio koji se odnosi na izradu glavnog i izvedbenog projekta uglavnom rutinski posao projektanta. Intencija ovog rada je upravo u davanju doprinosa izradi studija koncepcijskih rješenja i studiji izvedivosti kroz izradu projektnog modela koji će omogućiti razvoj određenog broja koncepcijskih projektnih rješenja te provjeru njihove izvedivosti. Nakon što je projekt broda završen i brod proizveden projektni zahtjevi se moraju dokazati tijekom provedbe pokusnih plovidbi na prototipu ako se radi o seriji brodova ili na jednom brodu.

1.1 Proces projektiranja ratnog broda

Standardan pristup projektiranja ratnog broda je primjenom projektne spirale za koju je karakterističan početak projektnog procesa od jedne projektne točke koju obično predstavlja neki postojeći brod (prototip). Zatim se u iterativnim postupcima pokušavaju poboljšavati njegove značajke (otpor, stabilitet, pomorstvenost itd.) kako bi se dobilo projektno rješenje koje je bolje od početnog. Primjer projektne spirale ratnog broda prikazan je na Slici 1. koja je preuzeta iz [1], a prikazuje temeljne dijelove svake iteracije projektnog procesa. Glavni nedostatak navedenog pristupa je u činjenici što on ne garantira dobivanje najboljih projektnih

rješenja koja bi bila bolja od postojećih. Proces je relativno spor i potreban je veći broj iteracija kako bi se došlo do zadovoljavajućeg rješenja. Pored navedenog, u procesu projektiranja ratnog broda počele su se primjenjivati i druge metode kao što je provedba parametarskih studija gdje se statističkom obradom parametara većeg broja ratnih brodova dolazi do podataka koji se mogu primijeniti kod određivanja glavnih izmjera i ostalih karakteristika ratnog broda. Pojavom višekriterijske optimizacije ta metoda se sve više primjenjivala u procesu projektiranja ratnog broda. Prednosti ove metode su u izboru projekata na temelju više atributa (kriterija), a jedan od nedostataka je što nije u svim slučajevima garantirala postizanje optimalnog projektnog rješenja tj. postojala je mogućnost završavanja rješenja u lokalnom optimumu. U posljednje vrijeme sve više se primjenjuje i višekriterijska optimizacija ratnog broda primjenom metoda direktnog traženja, metode skoka, te genetičkog algoritma. Glavna prednost ovakvog pristupa je što se njegovom primjenom postižu preferirana projektna rješenja koja se biraju iz Pareto skupa nedominiranih projektnih rješenja. Odabir preferiranih rješenja u odnosu na sva ostala rješenja u projektnom prostoru provodi se u nastavku procesa tijekom subjektivnog donošenja odluka o izboru konačnog rješenja.



Slika 1. Projektna spirala ratnog broda [1]

Prvom primjenom računala u procesu projektiranja ratnog broda u šezdesetim godinama XX stoljeća klasičan način projektiranja ratnog broda projektnom spiralom sve više gubi na značenju, a zamjenjuju ga nove naprednije metode koje teže prema sve boljim projektima broda. Teži se smanjenju vremena u ciklusu razvoja projekta kako bi se što brže i kvalitetnije moglo odgovoriti na zahtjeve naručitelja.

1.2 Prikaz dosadašnjih radova o projektiranju ratnog broda

U [1] i [2] je prikazana metodologija projektiranja broda provedbom parametarskih studija koje su poslužile za odabir glavnih dimenzija i ostalih značajki broda. U [2] su posebno objašnjene nove metode koje se zasnivaju na optimizaciji broda tj. pronalaženju broda najmanje mase koji se ujedno smatrao i najboljim. Reed [3] je 1976. razvio računalni model projekta ratnog broda koji se zasniva na uravnoteženju broda s obzirom na zahtijevanu brzinu, površinu/volumen, početni stabilitet, globalnu čvrstoću, potrebnu električnu energiju, volumen tankova i ostale značajke koje je brod morao imati da bi zadovoljio postavljene zahtjeve. Posebnost ovog modela je u tome što se na temelju postavljenih taktičko-tehničkih zahtjeva iterativnim putem dolazilo do temeljnih geometrijskih značajki broda koji su predstavljali projektno rješenje minimalne istisnine koje je zadovoljavalo postavljene zahtjeve. U [4] je prikazan pristup konceptualnog projektiranja ratnog broda veličine korvete koji se temelji na parametarskim jednadžbama koje su bazirane na statističkoj obradi većeg broja brodova. Sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog stoljeća u brodogradnji općenito, a posebno u ratnoj brodogradnji se počela primjenjivati metoda optimizacije broda. Zasniva se na generiranju skupa projektnih varijabli (npr. glavne dimenzije ili njihovi omjeri, koeficijenti trupa, brzina broda, broj brodova i sl.) koje su podložne određenim ograničenjima (minimalnim i maksimalnim vrijednostima), te ostalim kriterijima koji se očituju u relacijama pojedinih varijabli. Od svih mogućih kombinacija varijabli u obzir se uzimaju one koje zadovoljavaju gore navedena ograničenja tj. ona rješenja koja su izvediva. Takva rješenja se zatim ocjenjuju preko funkcije cilja. Optimalno rješenje je ono koje ima maksimalnu ili minimalnu vrijednost funkcije cilja od svih provedivih rješenja. Primjenjuju se dva pristupa, i to metoda direktnog traženja i metoda skoka. Kod direktne metode generiraju se projektna rješenja varirajući projektne parametre koji se ocjenjuju, a temeljem ocjene projekata odabire se optimalno rješenje. Kod metode skoka dobivaju se informacije o lokalnoj promjeni funkcije cilja (skokovima), zatim se pretražuje projektni prostor u svim smjerovima. Kada se

pronađe točka funkcije koja u svim smjerovima ima skok približno jednak nuli ona predstavlja optimum. U slučaju da funkcija ima više lokalnih optimuma može se dogoditi da se pronađe lokalni optimum, a ne globalni, što je i jedan od glavnih nedostataka ove metode. Autori koji su se bavili navedenim područjem su, Mistree et al [5], Schneekluth & Bertram [2] i Žanić & Čudina [6]. Krajem prošlog stoljeća u projektnim modelima ratnog broda po prvi put se počima primjenjivati genetički algoritam. Prve radove na području razvoja i primjene genetičkog algoritma objavio je Holland [7] sa sveučilišta Michigan pedesetih godina prošlog stoljeća. Značajniji autori koji su nastojali dalje razvijati i poboljšavati primjenu genetičkog algoritma su Michalewicz & Zbigniew [8] . Jedan od prvih radova na području primjene genetičkog algoritma u području optimizacije ratnog broda načinio je Shahak 1998. u svom magistarskom radu [9]. Genetički algoritam zasniva se na generiranju jednog skupa projektnih rješenja koji se naziva generacija koja teže preživljavanju u sljedećem ciklusu, sukladno Darvinovoj teoriji preživljavanja najprilagođenijih. Projektna rješenja se ocjenjuju primjenom funkcije cilja čija vrijednost se naziva fitnes, a ona rješenja koja su bolja imaju veći fitnes i veću vjerojatnost preživljavanja. Projektna rješenja koja su preživjela se zatim „križaju“ što se simulira primjenom pojedinih operatora genetičkog algoritma. Nova projektna rješenja, potomci, predstavljaju novu generaciju koja bi trebala imati bolje projektne karakteristike od prethodne generacije. Nakon iterativnog ponavljanja gore navedenog procesa dolazi do konvergencije kada nastaju slične generacije i on se zaustavlja, a najbolje rješenje iz zadnje generacije predstavlja preferirano projektno rješenje. Osnovna razlika između primjene genetičkog algoritma i drugih metoda optimizacije je što genetički algoritam u svom jednom ciklusu generira populaciju projektnih rješenja u usporedbi s jednim rješenjem pri svakom koraku koje primjenjuju ostale metode optimizacije. Na taj način genetički algoritam omogućuje pretraživanje projektnog prostora u više smjerova što daje puno veće izglede za pronalaženje rješenja iz skupine najboljih. Kod jednokriterijske optimizacije broda konačan rezultat je dobivanje optimuma po jednom kriteriju, a to je obično najmanja masa broda, dok kod višekriterijske postoji više kriterija koji su istovremeno u konfliktu pa ne možemo govoriti o dobivanju optimuma već o kompromisnom rješenju. Nadalje, višekriterijska optimizacija rezultira, umjesto s jednim najboljim rješenjem, sa skupom nedominiranih rješenja gdje se primjenjuje Pareto metoda za njihovo određivanje. Cilj ovog rada je u konačnici dobivanje skupa Pareto nedominiranih projektnih rješenja koji će biti potencijalni kandidati za odabir i ulazak u nastavak procesa detaljnog projektiranja ratnog broda. S obzirom na činjenicu da ratni brod nosi veliku količinu sofisticirane opreme i mora imati druge sposobnosti kao što su mala radarska, hidroakustička i infracrvena zamjetivost,

mogućnost površinske, protuzračne i protupodmorničke borbe preferirano rješenje mora uzeti u obzir. U radovima koji su nastali u razdoblju od 2000. do 2010. godine model iz [9] nastoji se nadograditi kako bi se uzele u obzir sve važne taktičko-tehničke sposobnosti broda. Kod ovog pristupa radi se o određivanju uvjetnog ili kompromisnog rješenja zbog više kriterija (atributa) koji predstavljaju funkcije cilja. U [10] je predstavljena optimizacija ratnog broda koja uključuje učinkovit način pretraživanja projektnog prostora za nedomoniranim rješenjima. [11] prikazuje primjer višekriterijskog konceptualnog projekta logističkog broda u kojem su cijena, rizik i učinkovitost atributi cilja. [12] razrađuje metodologiju mjerenja rizika kao dio modela višekriterijske optimizacije ratnog broda, dok se [13] bavi praktičnom i kvantitativnom metodom mjerenja učinkovitosti ratnog broda. Značajan doprinos u području primjene metoda optimizacije u brodogradnji dali su i domaći autori od kojih su korišteni radovi Žanić et al [14] i Grubišić & Begović [15]. Iako je težište ovog rada u određivanju optimalnog projektnog rješenja ratnog broda, ključni dio konceptualnog modela se pored ljuske genetičkog algoritma sastoji od samo-uravnoteženog modula koji automatski uravnotežava masu, površine i volumen broda. U njemu se iterativno proračunava otpor broda, bilanca električne energije, dostupne i zahtijevane mase i volumeni, te zahtijevane i dostupne površine na brodu dok se ne postigne ravnoteža navedenih parametara. Fokus rada je u definiranju projektnog modela ratnog broda u okvirima postavljenih ograničenja (forma, stabilitet, pomorstvenost) primjenom postojećih matematičkih metoda za odabir najpovoljnijih projekata uz zadovoljenje kriterija kao što su dobivanje dovoljnog broja nedominiranih projekata, te njihova dobra distribucija na Pareto plohi. Ovaj rad se bavi razvojem projektnog modela ratnog broda primjenom metode višekriterijske optimizacije i traženjem skupa Pareto optimalnih rješenja.

1.3 Zahtjevi za razvoj projektnog modela

Predmetni projektni model bavi se manjim višenamjenskim brzim ratnim brodom veličine korvete. Korveta je ratni brod, manji od fregate, a veći od obalnih ophodnih brodova, lako naoružan, brz i vrlo upravljiv. Većina svjetskih mornarica, a posebno srednje i manje ga imaju u svom sastavu za djelovanje u obalnom ili litoralnom akvatoriju. U zadnje vrijeme je upravo trend u uvođenju u uporabu manjih brodova, relativno velike udarne moći i upravljivosti. Korvete su obično istisnine od 500 do 2000 t, dok u manjim mornaricama istisnina može biti i manja od 500 t. Duljina korvete kreće se u rasponu od 55 do 100 metara, a može biti i manja od 55 metara. Naoružanje korvete uglavnom se sastoji od protubrodskog raketnog sustava,

pramčanog topa srednjeg ili manjeg kalibra, sustava za protuzrakoplovnu obranu te protupodmorničkog naoružanja (torpeda i/ili dubinske bombe).Veće korvete mogu imati sposobnost nošenja manjeg helikoptera koji se koristi za izviđanje i protupodmorničku borbu. Kao primjer najnovijeg uvođenja korveta u flotni sastav je švedska Visby klasa, koji je sigurno jedan od najmodernijih brodova ove klase i u čijem projektiranju je maksimalno primijenjena najnovija tehnologija u cilju smanjenja zamjetivosti broda. Sjedinjene Američke Države uvode „Litoral Combat Ship“ koji je veličine korvete, njemačka mornarica „K130 Braunschweig“ klasu novih korveta, a sličan trend je i u mnogim drugim mornaricama. Kod projektiranja bilo kakvog proizvoda ili sustava kao prvi korak potrebno je definirati zahtjeve koji će odrediti osnovne okvire i značajke tog sustava. U ovom podpoglavlju će se definirati zahtjevi za izradu višekriterijskog konceptualnog projektnog modela generičkog tipa višenamjenskog ratnog broda. Da bi se napravio kvalitetan proizvod neophodno je imati jasne i kvalitetne zahtjeve koji definiraju kakav bi trebao biti konačan proizvod. Temeljna namjena višenamjenskog broda veličine korvete je sudjelovanje u obrambenim pomorskim operacijama s sposobnošću vođenja protubrodske borbe, protupodmorničke borbe, djelovanja po kopnenim ciljevima, vlastite AA i proturaketne obrane. Sporedna namjena broda bi se odnosila na zadaće protuterorističke borbe, traganje i spašavanje na moru, te pomoć civilnom stanovništvu u slučaju nepogoda. S obzirom na činjenicu da će se projektni model koristiti za potrebe projektiranja brodova u Republici Hrvatskoj za akvatorij Jadranskog mora veličina broda je u području manjih korveta čija istisnina bi se kretala od 350 do maksimalno 1000 tona. Procjena je da bi se duljina broda kretala u rasponu od 45 do maksimalno 65 metara. Na temelju značajki sličnih brodova u sastavu HRM te raščlambi korveta u [4] maksimalna održiva brzina broda bila bi u granicama od 28 do 35 čvorova, dok bi se ophodna brzina kretala u granicama od 18 do 22 čvora. Brzina ispod 28 čvorova je neprihvatljiva, dok postizanje brzina iznad 35 čvorova je izvedivo ali bi najvjerojatnije utjecalo na prekoračenje drugih zahtjeva kao što je pomorstvenost zbog relativno manjih gabarita broda. U cilju postizanja navedenih brzina forma broda je poludeplasmanskog tipa čije su detaljnije značajke opisane u podpoglavlju 3.1. Materijali trupa koji bi se primijenili u projektnom modelu bi se ograničili na primjenu standarnog brodograđevnog čelika, čelika povišene čvrstoće i aluminijske legure, dok bi nadgrađe u svim slučajevima bilo od aluminijske legure. U budućnosti model bi se mogao nadograditi i za primjenu drugih brodograđevnih materijala. Pogon broda mora biti dimenzioniran na način da se zadovolji postizanje maksimalne brzine broda unatoč činjenici što se ona vrlo rijetko koristi tijekom životnog ciklusa broda. Za vrijeme većeg dijela životnog ciklusa ratni brod plovi ophodnom brzinom koja se kreće u

granicama od 50 – 60% maksimalne brzine ili relativno malom opterećenju motora. Stoga je od velike važnosti dobro dimenzionirati ratni brod za ophodnu brzinu koja određuje jedan dobar dio troškova životnog ciklusa, dok je kod maksimalne brzine prihvatljiva i relativno velika potrošnja goriva. Ratni brod se uglavnom koristi kombiniranim pogonskim sustavom iz razloga što je s jednim pogonskim sustavom gotovo nemoguće ispuniti operativne zahtjeve za brzinom. Pogon broda bi se svodio na tri uobičajene vrste pogona ratnog broda:

- „CODOG“ – kombinacija diesel motora ili plinskih turbina,
- „CODAG“ – kombinacija diesel motora i plinskih turbina,
- „CODAD“ – kombinacija diesel motora.

CODOG je jedna od najčešćih opcija koja se koristi u ratnoj brodogradnji, diesel motori s ekonomičnom potrošnjom se koriste za manje brzine (ophodna ili ekonomična brzina), dok se za postizanje maksimalne održive brzine koriste plinske turbine. CODAG je opcija pogona koja za ophodnu brzinu koristi diesel motore kao kod CODOG-a, a za postizanje maksimalne održive brzine pored diesel motora istovremeno se koriste i plinske turbine. CODAD za ophodnu brzinu koristi jedan do dva diesel motora, a za maksimalnu brzinu sve raspoložive diesel motore. CODAD opcija pogona je odabrana iz razloga što se ona i do sada primjenjivala na sličnim brodovima HRM. U okviru opcija pogonskog sustava projektnog modela primijenjene su tri vrste propulzora: vodomlazni, propulzor s promjenjivim usponom krila (CPP – controllable pitch propeller) i propulzor s fiksnim usponom krila (FPP - fixed pitch propeller). Brod bi bio opremljen protubrodskim raketnim sustavom (ASMS) srednjeg dometa što proizlazi iz zahtjeva za sposobnošću vođenja protubrodske borbe. U projektnom modelu ASMS ima tri opcije koje su ovisne o broju raketa instaliranih na brodu. Za provedbu protupodmorničke borbe (PPB) brod je opremljen sa lakim torpedima (LTOR) koje su u projektnom modelu rangirane u tri opcije ovisno o broju torpeda na brodu. Za gađanje ciljeva na kopnu, za protuzrakoplovnu (AA) borbu i proturaketnu borbu brod je opremljen s pramčanim topom (BGUN). Projektni model predviđa tri opcije za pramčani top koje su ovisne o kalibru i konkretnom proizvođaču. Za AA borbu do srednjih visina (oko 6 km) brod je opremljen AA sustavom čije opcije su raketni AA sustav ili višecjevni AA i proturaketni top. Brod je opremljen sa senzorima za motrenje morske površine, zračnog prostora, te ispod morske površine, te ostalom potrebnom zapovjednom, komunikacijskom i navigacijskom opremom. Glavni senzori broda su motrilački radar za otkrivanje i praćenje ciljeva na morskoj površini i zraku, ciljnički radar spregnut s instaliranim topovima, elektro optički sustav (EOS), navigacijski radar, te pramčani sonar. U cilju učinkovite zaštite, brod je opremljen sa sustavom mamaca ciljeva, detektorom radarskog signala i detektorom laserskog signala.

Vezano za daljnju zaštitu broda i mogućnost smanjenja zamjetivosti broda projektni model ima slijedeće opcije koje uključuju ili isključuju ugradnju sustava na brod:

- sustav nuklearno – biološko-kemijske (NBC) filtroventilacije s pripadnim senzorima,
- radarska zamjetivost,
- infra crvena (IR) zamjetivost,
- elektromagnetska zamjetivost,
- hidroakustička zamjetivost.

Svaki od navedenih sustava utječe na globalnu učinkovitost broda u dijelu koji se odnosi na preživljavanje broda. NBC sustav predstavlja sustav filtroventilacije, koji se sastoji od senzora koji mjere kontaminiranost vanjske okoline, podsustava za filtriranje zagađenog vanjskog zraka, te zaštitu određenih brodskih prostora osiguravajući nadtlak u njima. Smanjenje radarske zamjetivosti se postiže na dva načina. Prvi se postiže izvedbom nadvodnog dijela konstrukcije u obliku nagnutih površina („stealth izvedba“), a drugi se odnosi na izolaciju vanjskih površina materijalima ili specijalnim bojama koje na neki način apsorbiraju radarske valove i onemogućuju im da se reflektiraju prema njihovom izvoru. Smanjenje IC zamjetivosti se postiže izvedbom na način da se površine brodske konstrukcije i opreme viših i visokih temperatura ugrađuju na manje izloženim mjestima, izoliraju ili hlade. Jedan od primjera je izvedba ispuha glavnih motora ispod morske površine. Elektromagnetska zamjetivost odnosi se na zaštitu broda od protubrodskih mina s elektromagnetskim upaljačem koji aktivira brodsko magnetsko polje. Elektromagnetsko polje broda se može neutralizirati ugradnjom na brod sustava zavojnica čije elektromagnetsko polje neutralizira ukupno magnetsko polje broda (tzv. Degausing magnetski sustav). Hidroakustička zamjetivost odnosi se na hidroakustički trag koji se širi s broda, a koji može aktivirati protubrodske mine s hidroakustičkim upaljačem. U projektnom modelu ova zamjetivost je povezana s vrstom propulzora koja je ugrađena na brod. Vodomlazni propulzor ima najmanji hidroakustički trag, FPP propulzor veći, dok bi CPP propulzor imao najveći hidroakustički trag tj. bio bi najnepovoljniji. Pored propelera na hidroakustičku zamjetivost utječe zvuk glavnih i ostalih brodskih strojeva koji se preko konstrukcije broda prenosi na more i širi dalje. Dobrom zvučnom izolacijom može se utjecat na smanjenje ove vrste zamjetivosti. Smanjenje svih navedenih vrsta zamjetivosti utječe na povećanje učinkovitosti broda dok istovremeno poskupljuje brod. Brod bi bio opremljen standardnom palubnom opremom, opremom trupa, kormilarskim uređajem, opremom za borbenu otpornost broda (protupožarna oprema, oprema za borbu protiv naplavljivanja u slučaju oštećenja broda), te opremom za spašavanje. U cilju postizanja što veće žilavosti broda i njegovih sustava pojedini brodski sustavi bi bili

duplicirani, a to se posebno odnosi na izvore i distribuciju električne energije po brodu. Brod bi morao biti potpuno operativan za uvjete okoliša koji su definirani gornjom vrijednošću stanja mora 4 prema WMO (World Meteorological Organization) skali iz [16] ($H_{1/3}$ = 2.5 metara). Ograničena operativnost broda očekuje se za stanja mora od 4 do 6 po istoj skali, a preživljavanje broda na najvišim stanjima mora na Jadranu. Doplov i autonomnost broda su izraženi kroz tri moguće opcije kako je prikazano u Tablici 1. Zahtjevi su prikazani u tabličnoj formi u Tablici 1. i dovoljni su za razinu konceptualnog projektiranja broda. Stavke u Tablici 1. koje imaju opcije će se varirati u projektnom modelu kako bi se generiralo više projekata koji će se ocjenjivati i rangirati u cilju dobivanja skupa preferiranih projekata. One stavke iz tablice zahtjeva koje nemaju opcije i za koje je naznačeno da su iste za sve projekte ostaju konstantne i nemaju bitnijeg utjecaja na ocjenjivanje, rangiranje i odabir preferiranih projekata. Iz navedenih zahtjeva proizlaze značajke koje utječu na globalnu učinkovitost broda, te ograničenja koja definiraju projektni prostor izvodivih projekata.

Tablica 1. Zahtjevi za razvoj projektnog modela višenamjenskog ratnog broda

Rbr	Zahtjev	Opis	Opcije
1	Forma broda	Poludeplasmanska forma s dubokim V pramčanim rebrima i U krmenim rebrima.	Projektne varijable forme se variraju kako bi se dobila najprikladnija forma.
2	Materijal trupa i nadgrađa	Kombinacije materijala standardnog brodograđevnog čelika i Al legure.	1. Trup od standardnog brodograđevnog čelika, nadgrađe od Al legure 2. Trup od čelika povišene čvrstoće, nadgrađe od Al legure 3. Trup od aluminijske legure, nadgrađe od Al legure
3	Pogon broda	Kombinacije pogona s diesel strojevima i plinskim turbinama, te samo diesel strojevima.	1. CODOG s vodomlaznim ili FPP ili CPP propulzorom 2. CODAG s vodomlaznim ili FPP ili CPP propulzorom 3. CODAD s vodomlaznim ili FPP ili CPP propulzorom
4	ASMS	Protubrodski raketni sustav srednjeg dometa.	1. 2 rakete 2. 4 rakete 3. 8 raketa
5	BGUN	Pramčani top srednjeg kalibra.	1. BGUN malog kalibra 40 mm 2. BGUN srednjeg kalibra 57 mm 3. BGUN srednjeg kalibra 76 mm
6	LTOR	Lako torpedo za ASW.	1. LT 342 mm 2 kom 2. LT 342 mm 4 kom 3. LT 342 mm 6 kom
7	AA sustav	Protuzrakoplovni i proturaketni sustav.	1. AA višecjevni top 23 mm 2. AA raketni sustav za srednje visine
8	Maksimalna održiva brzina	Od 28 do 35 čvorova.	
9	Ophodna brzina	Od 18 do 22 čvora.	

Tablica 1. Zahtjevi za razvoj projektnog modela višenamjenskog ratnog broda - nastavak

10	Doplov broda	Doplov broda pri ophodnoj brzini.	1. 1000 nautičkih milja (NM) 2. 1250 NM 3. 1500 NM
11	Autonomnost broda	Autonomnost broda u danima, a ovisi o veličini skladišnog prostora za hranu i pitku vodu na brodu.	1. 7 dana 2. 10 dana 3. 15 dana
12	NBC sustav		1. Ugrađen NBC sustav 2. Bez NBC sustava
13	Radarska zamjetivost		1. „Stealth“ izvedba konstrukcije 2. Obična izvedba konstrukcije
14	IR zamjetivost		1. Izvedba s reduciranom IC zamjetivošću 2. Obična izvedba
15	Elektromagnetska zamjetivost		1. Izvedba s ugrađenim sustavom smanjenja magnetske zamjetivosti 2. Izvedba bez sustava smanjenja magnetske zamjetivosti
16	Hidroakustička zamjetivost		1. Vodomlazni propulzor – najmanji hidroakustički trag 2. FPP propulzor – velik hidroakustički trag 3. CPP propulzor – vrlo velik hidroakustički trag
17	Operativnost broda	Potpuna operativnost broda za stanje mora 4 po WMO skali ($H_{1/3}$ = 2.5 metara), te djelomična operativnost za stanje mora od 4 do 6 po istoj skali.	
18	Glavni brodski senzori	Motrilački radar, navigacijski radari (S i X band), EOS, ciljnički radar, pramčani sonar. Ista oprema za sve projekte.	
19	Oprema za elektroničku borbu i zaštitu broda	Mamci ciljeva, detektor radarskog signala, detektor laserskog signala. Oprema ista za sve projekte.	

Tablica 1. Zahtjevi za razvoj projektnog modela višenamjenskog ratnog broda - nastavak

20	Brodski pomoćni sustavi	Brodski pomoćni sustavi standardne izvedbe isti za sve projekte.	
21	Oprema borbene otpornosti broda (SDC)	SDC oprema standardne izvedbe ista za sve projekte.	
22	Zapovjedno informacijski i komunik. sustav (C4I)	C4I i navigacijska oprema zadnje generacije ista za sve projekte.	
23	Sustav uprav. paljbom (SFD)	SFD zadnje generacije isti za sve projekte.	
24	Navigacijska oprema	Navigacijska oprema ista za sve projekte.	

1.4 Scenariji upotrebe višenamjenskog ratnog broda

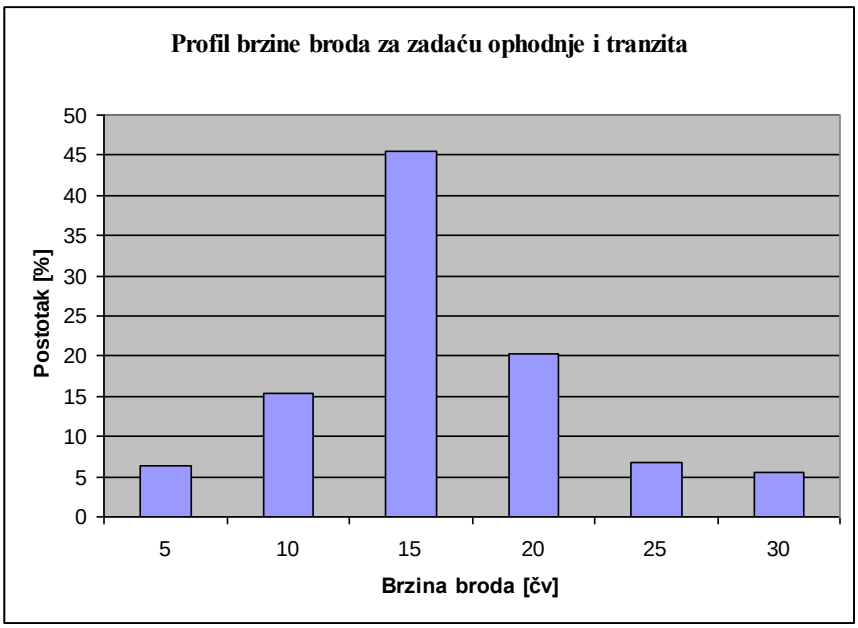
Svaka ratna mornarica ima vlastitu taktiku uporabe pomorskih snaga koja se temelji na pretpostavljenim scenarijima njene uporabe. Takve taktike ovise o procijenjenoj prijetnji, tehničkoj razini mornarice, okruženju te o nizu drugih faktora. Ovdje neće biti riječi o specifičnoj taktici bilo koje mornarice već će se općenito razmotriti scenarij upotrebe ratnog broda te kako on utječe na projekt ratnog broda. Upotreba ratnog broda može se generalno promatrati kao uporaba u ratu i miru. Scenariji višenamjenskog ratnog broda veličine korvete u ratu mogu se razložiti na misije ili zadaće kao što su:

- površinska borba,
- protupodmornička borba,
- protuzrakoplovna i proturaketna borba,
- ophodnja i tranzit.

Aktivnosti koje su u potpori ratnih zadaća su:

- opskrba broda na moru,
- održavanje i popravci brodskih sustava,
- održavanje spremnim brodskog naoružanja.

Navedene misije i aktivnosti same za sebe ne predstavljaju smišljene scenarije i taktiku uporabe ratnog broda ali svaki scenarij se može opisat primjenom više navedenih aktivnosti. Jedan od najvažnijih operativnih zahtjeva koji proizlazi iz scenarija uporabe je profil brzine ratnog broda. Primjer profila brzine za zadaću ophodnje prikazan je na Slici 2. Iz profila brzine projektant može dobiti korisne informacije za dimenzioniranje propulzijskog sustava ratnog broda kao što je maksimalna brzina, ophodna brzina te ostale brzine i njihovi postotci u ukupnoj zadaći temeljem čega se mogu odrediti potrebni resursi pogonskog stroja. Simulacijom scenarija površinske borbe dolazi se do vrlo važnih operativnih zahtjeva za projekt kao što je domet i broj raketa protubrodskog raketnog sustava po plovnoj jedinici. Ovaj operativni zahtjev razmatra se kroz scenarij uporabe određenog dijela i cjelokupnih mornaričkih snaga pri čemu treba voditi računa o sinkroniziranoj uporabi više platformi na jedan cilj kako bi učinak bio što veći. Iz navedenog se može zaključiti da se projekt jednog ratnog broda ne može razmatrati kao zasebna cjelina već kao dio većeg sustava s kojim je u interakciji.



Slika 2. Profil brzine ratnog broda za zadaću ophodnje i tranzita

Detaljniji zahtjevi za dimenzioniranje protubrodskog raketnog sustava odnose se na značajke protubrodske rakete kao što je mogućnost programiranja njene putanje od platforme do cilja, visina leta iznad površine mora u završnom dijelu putanje, količina eksploziva te druge značajke. Scenarij protupodmorničke borbe temelji se na traženju protivničke podmornice za što se primjenjuju različite taktike te napad na podmornicu. Takvi scenariji obično uključuju uporabu više platformi i njihovo sinkronizirano djelovanje. Na temelju značajki protivničkih podmornica potrebno je dimenzionirati podvodne senzore broda te protupodmorničko naoružanje koje uključuje torpeda i dubinske bombe. Za djelovanje po protivničkim brodovima ili po ciljevima na obali i kopnu potrebno je simulirati taktičke scenarije uporabe pramčanog topa. On se koristi kao sekundarno naoružanje kada se radi o protubrodskoj borbi dok se može učinkovito koristiti za djelovanje po ciljevima na obali i kopnu. Pramčani top se također može koristiti i za obrambene svrhe protiv zrakoplova i raketa. Kao što je vidljivo za dimenzioniranje njegovih taktičko-tehničkih značajki moraju se razmotriti različiti scenariji te kompromisom doći do najprihvatljivijeg rješenja. U slučaju da se on dominantno koristi za uništavanje točkastih ciljeva na obali bilo bi potrebno razviti scenarije u kojima bi se razmotrile značajke tih ciljeva kao što je njihova veličina, broj ciljeva, grupiranost, debljina oklopa, značajke naoružanja koje koriste i slično. Na temelju tih podataka može se dimenzionirati pramčani top. Scenariji uporabe ratnog broda odnose se i na obrambene zadaće temeljem čega se određuju značajke obrambenog naoružanja kao što je protuzrakoplovni top ili neki drugi protuzrakoplovni ili proturaketni sustav. Značajke navedenog naoružanja proizlaze iz scenarija obrane od protivnika za kojeg se pretpostavlja

kakve vrste napadnog naoružanja može upotrijebiti. Npr. ratni brod može očekivati napad iz zraka helikopterom sa udaljenosti od maksimalno 5 km. Na temelju tih podataka može se dimenzionirati protuzrakoplovni top kako bi uspješno odgovorio na tu prijetnju. Obrambeno naoružanje za brod veličine manje korvete je krucijalno za njegovo preživljavanje jer takvi brodovi se mogu koristiti kako u borbenim grupama tako i samostalno. Sve navedeno upućuje na zaključak da jedan višenamjenski ratni brod je dio jedne veće cjeline s kojom mora biti u stalnoj komunikaciji, razmjenjivati potrebne informacije te reagirati po zapovijedi koje dobiva iz nadređenog zapovjedništva. Za uspješno djelovanje ratni brod mora biti opremljen zapovjedno informacijskim sustavima, sustavima motrenja nad morem i u podmorju, sustavima presretanja protivnikovih informacija, sustavima obmanjivanja i elektroničkim ometanjem protivnika što je od velike važnosti za učinkovito funkcioniranje i preživljavanje ratnog broda. Kako bi se najbolje odgovorilo na sve moguće scenarije uporabe ratnog broda potrebno je razviti više konceptualnih projekata ratnog broda od kojih se odabira jedan koji će najbolje odgovoriti na prijetnje iz scenarija taktičke uporabe ratnog broda. Iako je ratni brod projektiran za ratnu namjenu on najveći dio svog životnog ciklusa provede u miru te se i to mora uzeti u obzir kod njegova projektiranja. Takav zahtjev se može odnositi na pomorstvenost broda kako bi posadi bio ugodan boravak na moru. Ratni brod može imati i sporedne zadaće u miru kao što je traganje i spašavanje, borba protiv krijumčara, trgovaca ljudima i drogom, pomoć otočnom stanovništvu u uvjetima katastrofa itd. I takvi zahtjevi se mogu ugraditi kod definiranja taktičko-tehničkih zahtjeva za razvoj nove plovne platforme ratnog broda. Na temelju navedenih scenarija definiraju se taktičko-tehnički zahtjevi, a primjer hipotetičkih zahtjeva za potrebe predmetnog projektnog modela prikazan je u podpoglavlju 1.3. Razvijene zemlje za potrebe simuliranja scenarija taktičke uporabe ratnog broda primjenjuju kompjutorske simulacije tzv. „ratne igre“ kojima se simulira uporaba ratnog broda u različitim situacijama, analiziraju rezultati te donose zaključci o potrebnim značajkama nove platforme. Kod razvijanja scenarija uporabe ratnog broda i definiranje taktičko-tehničkih zahtjeva također je potrebno voditi računa i o raspoloživim financijskim resursima koji su u većini slučajeva ograničeni i značajnu utječu na konačne značajke nove plovne platforme.

2 CILJ, HIPOTEZA RADA I ZNANSTVENI DOPRINOS

2.1 Cilj rada i hipoteza rada

Cilj ovog istraživanja je usavršiti postojeće postupke projektiranja i odabira (poboljšanih) generičkih klasa ratnih brodova najpovoljnijim modeliranjem taktičkih i tehničkih značajki broda. U tu svrhu razvijen je napredni model konceptualnog projektiranja višenamjenskog ratnog broda generičkog tipa koji se može primijeniti za ratne i civilne potrebe. Projektni model se može primijeniti na konceptualnoj razini projektiranja, a njegov rezultat je skup Pareto prihvatljivih rješenja temeljenih na višekriterijskoj optimizaciji dok odluku o odabiru konačnog rješenja donosio naručitelj broda u posebnom postupku. Projektni model se temelji na višenamjenskom tipu ratnog broda. Hipoteza ovog rada je postavka da predloženi napredni projektni model omogućuje dobivanje projektnih rješenja koja su bolja od postojećih. U cilju potvrđivanja hipoteze ovog rada za postojeći ratni brod izvršena je višekriterijska optimizacija primjenom predmetnog projektnog modela, te „ručni“ proračun atributa bez primjene optimizacije. Dobiveni rezultati su uspoređeni i pokazuju gdje se nalazi postojeći projekt u odnosu na Pareto krivulju. Ovaj postupak može se provesti za više postojećih projektnih rješenja kako bi dobiveni rezultati bili što mjerodavniji.

2.2 Znanstveni doprinos rada

Doprinos ovoga rada je u poboljšanju procesa donošenja odluka u postupku optimizacije projekta ratnog broda. U radu je razvijen matematički projektni model za optimizaciju generičkog tipa višenamjenskog ratnog broda. Razvijanje kriterija ocjenjivanja projekata omogućuje projektiranje ratnog broda putem automatiziranog pretraživanja projektnog prostora te dobivanje skupa Pareto optimalnih projekata. Predloženi višekriterijski konceptualni projektni model osigurava primjenu vlastitih ekspertnih znanja na višoj razini realizacije projekata ratnog broda.

3 MATEMATIČKI MODEL VIŠEKRITERIJSKOG KONCEPTUALNOG PROJEKTA VIŠENAMJENSKOG RATNOG BRODA

3.1 Opis projektnog modela

Budući da se ovaj projektni model zasniva na višekriterijskoj optimizaciji on se sastoji od komponenti koje se mogu povezati sa općom teorijom višekriterijske optimizacije koja je prikazana u podpoglavlju 4.1. Matematički model višekriterijskog konceptualnog projekta višenamjenskog ratnog broda opisuje projektni model i sastoji se od sljedećih dijelova:

- Projektne varijable,
- Parametri projektnog modela,
- Ograničenja u projektnom modelu,
- Funkcije cilja ili atributi projektnog modela.

Projektne varijable se variraju u projektnom modelu te imaju najveći utjecaj na taktičko-tehničke značajke projektnih rješenja. Parametri projektnog modela se izračunavaju na temelju projektnih varijabli i ostaju konstantni tijekom jednog ciklusa proračuna. Konstante se ne mijenjaju tijekom izvršenja pripadnih proračuna u projektnom modelu i predstavljaju dio parametara. Konstante su dobro poznate vrijednosti ili imaju manji utjecaj na taktičko-tehničke značajke projektnog rješenja.

Ograničenja u projektnom modelu definiraju izvedivi dio projektnog prostora, a detaljno su objašnjena u podpoglavlju 3.6. Postavljanjem ograničenja projektni prostor se dijeli na izvedivi dio koji se nalazi unutar postavljenih ograničenja te na neizvedivi dio. Preferirana projektna rješenja se nalaze u izvedivom dijelu a određuju se primjenom metoda višekriterijske optimizacije kako je objašnjeno u poglavlju 4.

Glavni rezultati projektnog modela očituju se u dobivanju preferiranih projektnih rješenja. Projektna rješenja se rangiraju, ocjenjuju i odabiraju na temelju više kriterija koji predstavljaju funkcije cilja ili atribute. U konkretnom slučaju predmetnog projektnog modela postoje dva atributa: cijena životnog ciklusa broda i globalna učinkovitost broda koja se sastoji od većeg broja specifičnih atributa.

Cilj projektnog modela je dobivanje Pareto preferiranih projektnih rješenja minimizacijom cijene životnog ciklusa te istovremeno maksimizacijom učinkovitosti broda. Globalna učinkovitost sastoji se od niza specifičnih atributa koji utječu na učinkovitost broda kao što je

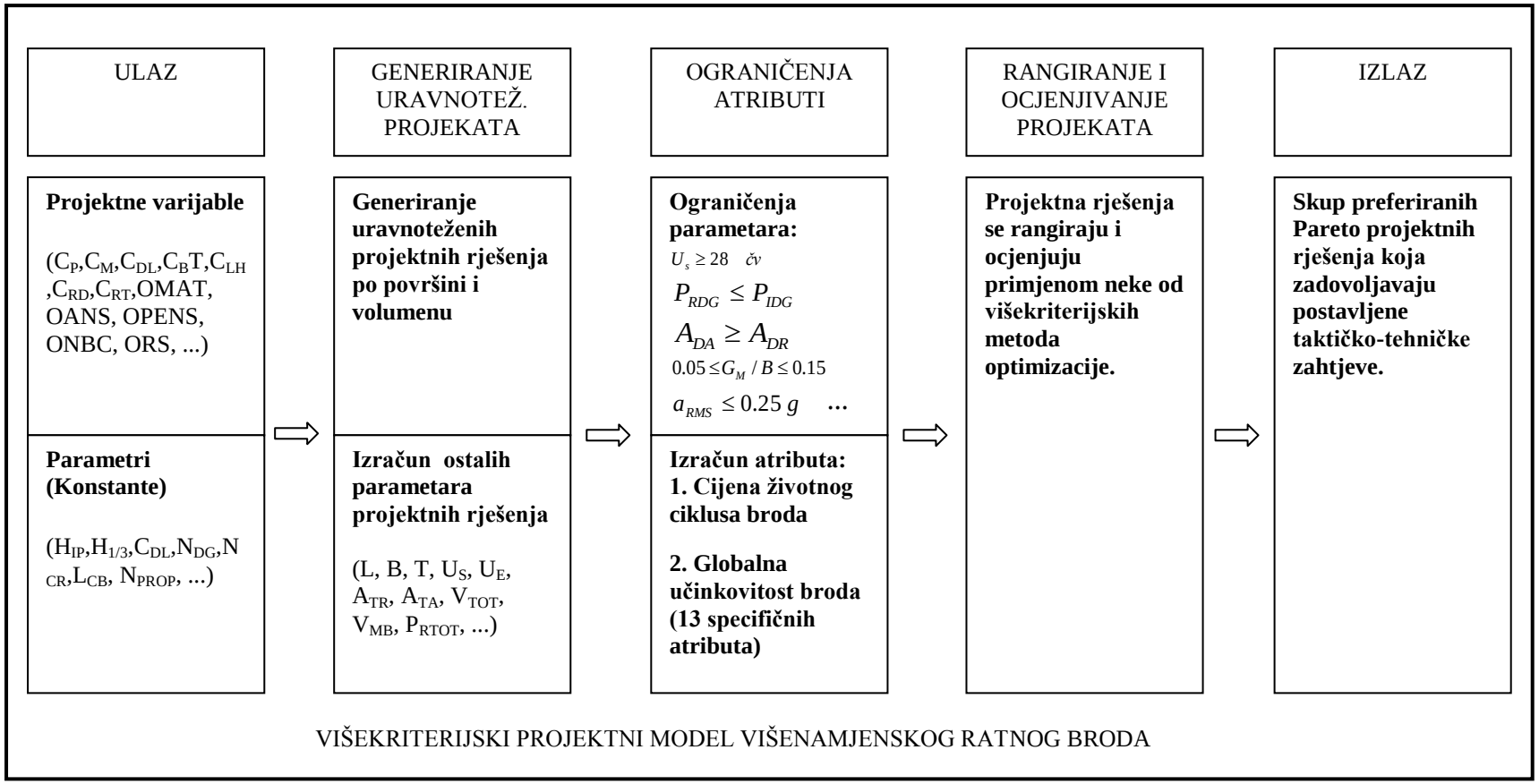
brzina broda, naoružanje koje brod nosi te ostale važne taktičko-tehničke značajke broda. Atributi projekta ratnog broda su opisani u podpoglavlju 3.7. U Tablici 2. prikazan je ukupan broj projektnih varijabli, parametara, ograničenja i atributa u projektnom modelu.

Tablica 2. Broj varijabli, parametara, ograničenja i atributa u projektnom modelu

Broj projektnih varijabli	Broj parametara	Broj ograničenja	Broj atributa
19	507	9	1+1(13)

3.2 Struktura projektnog modela

Na Slici 3. prikazana je struktura višekriterijskog projektnog modela višenamjenskog ratnog broda. Ulazne vrijednosti projektnog modela su projektne varijable i dio parametara (konstante). Projektne varijable se generiraju slučajno iz vrijednosti predefiniranog raspona i određuju značajke generiranih projektnih rješenja. Na temelju ulaznih vrijednosti u projektnom modelu se izračunavaju ostali parametri koji se odnose na sve ostale značajke broda kao što su glavne izmjere, volumeni, površine, potrebna energija, stabilitet i pomorstvenost. Tijekom izračuna parametara vrši se uravnoteženje projekata. Pored postizanja potrebne istisnine, dostupna površina i volumen takvih projekata mora biti približno jednaki zahtijevanoj površini i volumenu. U projektnom modelu definiraju se ograničenja pojedinih parametara te se na taj način određuje prostor izvedivih projekata. Projektni model također sadrži atribute na temelju kojih se iz izvedivog dijela projektnog prostora odabiraju preferirana projektna rješenja. Odabir preferiranih projektnih rješenja vrši se primjenom jedne od metoda višekriterijske optimizacije na način da se ona rangiraju i ocjenjuju prema atributima projektnog modela. Izlaz iz projektnog modela je skup preferiranih Pareto projektnih rješenja koji zadovoljavaju postavljene taktičko-tehničke zahtjeve.



Slika 3. Struktura višekriterijskog projektnog modela višenamjenskog ratnog broda

3.3 Projektne varijable

Projektne varijable opisuju projektni model i variraju se tijekom provedbe višekriterijske optimizacije te najviše utječu na taktičko-tehničke značajke ratnog broda. Projektne varijable mogu biti kontinuirane i diskretne. Kontinuirane se u projektnom modelu odnose na brodsku formu dok su sve ostale diskretne kao što je dano u detaljnom prikazu projektnih varijabli u Tablici 3. Projektne varijable višekriterijskog konceptualnog projektnog modela generičkog tipa višenamjenskog ratnog broda osim brodske forme opisuju i niz drugih taktičko tehničkih značajki broda kao što su opcije materijala trupa, pogona, doplova, te značajke zamjetivosti. Na taj način projektni model uključuje realne karakteristike projektnih rješenja koji se mogu ocjenjivati i rangirati primjenom Pareto metode i atributa što omogućuje usporedbu i odabir preferiranih projektnih rješenja. Projektne varijable projektnog modela se variraju kako bi se dobilo više usporedivih projektnih rješenja. Projektne varijable predstavljaju ulazne podatke u višekriterijski konceptualni projektni model višenamjenskog ratnog broda. Vrijednost projektnih varijabli u projektnom modelu određuje se slučajno primjenom generatora slučajnih brojeva. U Tablici 3. prikazane su projektne varijable projektnog modela sa pripadnim vrijednostima. Prvih sedam varijabli odnosi se na brodsku formu. Da bi se bolje opisao krmeni dio broda u dodana je varijabla C_{RT} koja predstavlja omjer površine uronjenog dijela krmenog zrcala u odnosu na površinu glavnog rebra. Projektne varijable forme kreću se u granicama koje su uobičajene za ovaj tip broda te nešto šire radi mogućnosti generiranja širokog spektra projekata koji će se ocjenjivati, rangirati i odabirati tijekom procesa odabira preferiranih projektnih rješenja. Minimalne i maksimalne vrijednosti parametara forme iz Tablice 3. su prikazane samo radi ilustracije te ovise o konkretnom tipu broda za koji će se koristiti predmetni projektni model. Projektna varijabla OMAT se odnosi na materijal čije mehaničke značajke su prikazane u Tablici 5. Projektna varijabla OPSNS odnosi se na 11 opcija pogonskog sustava ratnog broda koje ovise o konkretnoj kombinaciji glavnih strojeva i tipu propulzora. Značajke opcija pogona projektnog modela prikazane su u Prilogu 6. Projektna varijabla doplova broda ima tri opcije o kojima ovisi veličina tankova broda koji se proračunavaju za ophodnu brzinu broda.

Tablica 3. Varijable projektnog modela

Rbr	Varijabla	Opis	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
Varijable forme broda				
1	C_P	Uzdužni prizmatički koeficijent	0.55	0.75
2	C_M	Koeficijent glavnog rebra	0.55	0.85
3	C_{DL}	Volumetrijski koeficijent	1.0	5.0
4	C_{BT}	Omjer B i T	2.5	5.0
5	C_{LH}	Omjer L i H	7.0	13.0
6	C_{RD}	Omjer duljine od AP do početka kaštela i LWL	0.45	0.55
7	C_{RT}	Omjer uronjene površine zrcala i glavnog rebra	0.4	0.6
Varijable materijala, pogona, doplova autonomnosti, naoružanja i zamjetivosti				
8	OMAT(i)	Opcije materijala trupa i nadgrađa	i=1,...3	
9	OPSNS(i)	11 opcija pogonskog sustava broda predefinirano je u projektnom modelu s obzirom na glavne pogonske strojeve i tip propulzora (vidi Prilog 2.)	i=1,...,11	
10	OPENS(i)	Opcije doplova broda	i=1,...,3	
11	OANS(i)	Opcije autonomnosti broda	i=1,...,3	
12	OBGNS(i)	Opcije pramčanog topa	i=1,...,3	
13	OASMS(i)	Opcije protubrodskog raketnog sustava	i=1,...,3	
14	OLTOR(i)	Opcije torpednog naoružanja	i=1,...,3	
15	OAAS(i)	Opcije AA sustava	i=1,...,2	
16	ORS(i)	Opcije radarske zamjetivosti	i=1,...,2	
17	OIRS(i)	Opcije IR zamjetivosti	i=1,...,2	
18	OMAGS(i)	Opcija magnetske zamjetivosti	i=1,...,2	
19	ONBC(i)	Opcija NBC zamjetivosti	i=1,...,2	

Projektna varijabla autonomnosti broda se odnosi na autonomnost broda, a ovisna je o količini zaliha hrane i vode za piće. Sukladno ovoj varijabli dimenzioniraju se kapaciteti skladišta hrane na brodu i veličina tankova vode za piće. Projektne varijable vezane za naoružanje odnose se na pramčani top, protubrodski raketni sustav, torpedno naoružanje te AA sustav. Njihove opcije očituju se u količini i vrsti naoružanja po proizvođaču te pripadnih kompleta streljiva. Projektne varijable zamjetivosti broda imaju dvije opcije: obična izvedba kod koje sustavi reduciranja zamjetivosti broda nisu ugrađeni na brod, te izvedba kod koje su isti ugrađeni na brod. Podaci o karakteristikama pojedinih sustava, naoružanja i opreme vezano za navedene projektne varijable kao što su masa, vertikalni položaj težišta, zahtijevana površina, zahtijevana električna snaga su pohranjene u obliku baze podataka, te se koriste u

proračunima samouravnoteženog dijela projektnog modela. Katalozi naoružanja i opreme koji su korišteni za formiranje navedene baze podataka referirani su u literaturi od [53] do [62].

3.4 Parametri projektnog modela

Parametri projektnog modela su pojedine značajke broda koje se izračunavaju na temelju projektnih varijabli. Karakteristični primjeri parametara su vrijednosti parametara duljine broda, širine broda, gaza broda, maksimalne održive brzine, ophodne brzine, zahtijevanog ukupnog volumena broda, vertikalnih ubrzanja koje se izračunavaju na temelju vrijednosti ulaznih projektnih varijabli forme broda. Ovaj projektni model sadrži 507 parametara koji se odnose na otpor, bilancu električne energije, volumen tankova, zahtijevani i dostupni volumen i površine broda, početni stabilitet i pomorstvenost.

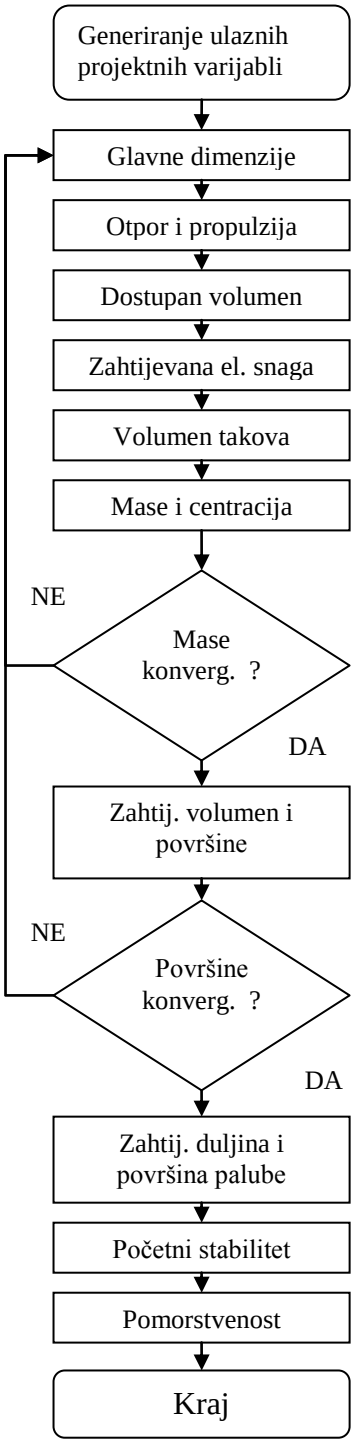
Jedan dio projektnih parametara ostaje konstantan. To su parametri koji ne utječu značajno na projektni model ili se projektni model pojednostavljuje na navedeni način. Primjer parametara koje mogu biti konstantne u projektnom modelu su prosječna visina između paluba, raspon i razmak primarnih i sekundarnih ukrepa broda, broj posade, broj instaliranih diesel generatora i slično. Parametri projektnog modela su detaljno prikazani u podpoglavlju 3.5, a odnose se na brodsku formu, otpor broda, dostupan volumen trupa i nadgrađa, bilance potrebne električne energije, zahtijevanih i dostupnih volumena i površina broda, proračun masa i centracije, stabiliteta i pomorstvenosti. U podpoglavlju 3.5.1.1 i 3.5.1.2 skupa sa parametrima brodske forme prikazane su i projektne varijable brodske forme (bezdimenzionalni koeficijenti forme). Ovo je naglašeno iz razloga striktnog razgraničenja projektnih varijabli, parametara, ograničenja i atributa.

3.5 Postupak samouravnotežavanja projektnih rješenja

Za model je od krucijalne važnosti strukturiranje parametara, redoslijed izvedbe i povezanost pojedinih cjelina što čini poseban dio projektnog modela koji se naziva samouravnoteženi dio projektnog modela.

U ovom podpoglavlju je opisan proces uravnoteženja broda u cilju dobivanja projekata koji za zadane ulazne varijable projektnog modela daju brod uravnotežen po masama, površinama i volumenima koji su jednaki zahtijevanim. U podpoglavljima od 3.5.1 do 3.5.11 opisan je dio matematičkog modela tj. izrazi koji su korišteni u samouravnoteženom dijelu projektnog modela. Dijagram toka koji opisuje redoslijed izvođenja pojedinih dijelova

samouravnoteženog dijela modela, te iterativne petlje kojima se postiže uravnoteženje projekta prikazan je na Slici 4.



Slika 4: Dijagram toka samouravnoteženog dijela projektnog modela

Nakon generiranja ulaznih varijabli projektnog modela, vrši se sukcesivni proračun glavnih dimenzija projekta, otpora broda, dostupnog volumena, zahtijevane električne snage, volumena tankova, te masa i centracije toliko dugo dok se ne postigne uravnoteženje masa. Projekt uravnotežen po masama znači dobivanje projekta potrebne istisnine za zadane ulazne projektne varijable (omjere i koeficijente brodske forme) i opterećenje broda (naoružanje, streljivo, oprema, posada itd.). Parametri koji se odnose na glavne dimenzije se koriste u svim ostalim komponentama, dok se parametri svake komponente koriste kao ulazni parametri slijedeće komponente u nizu. Npr. parametri otpora koriste za izračun volumena tankova, parametri volumena koriste se u modulu za izračun potrebne električne snage, itd. Kod prvog izračuna glavnih dimenzija broda pretpostavi se početna vrijednost mase istisnine broda, koja tijekom procesa konvergira prema zahtijevanoj masi istisnine broda. Ovisno o postavljenoj toleranciji, obično nakon 4 do 6 iteracija mase konvergiraju tj. dolazi se do projekta potrebne istisnine. Nakon konvergencije masa izračunavaju se dostupne i zahtijevane površine projekta koje se uravnotežuju primjenom izraza (338) tj. traženjem nul vrijednosti volumena nadgrađa. Traženje nul vrijednosti volumena nadgrađa je iterativno tj. volumen nadgrađa se korigira dok se ne dobije uravnoteženje zahtijevane i dostupne površine projekta. Za ovu potrebu u projektnom modelu korištena je metoda sekante koja je pouzdana, brzo konvergira i uvijek se dolazi do traženog rješenja kada je ono u području u kojem se izmjenjuje predznak promatrane funkcije. Nakon konvergencije površina koja se obično događa nakon 4 – 5 iteracija vrši se izračun početnog stabiliteta, pomorstvenosti te zahtijevane i dostupne duljine i površine otvorene palube. Ponekad se može dogoditi da mase ne konvergiraju i to je vrlo rijetko dok kod površina to može biti i češće. Takva rješenja koja ne konvergiraju se odbacuju i ne razmatraju u daljnjem tijeku projektnog modela.

Za izračun glavnih dimenzija broda primjenjuju se izrazi:

$$L_{WL} = 10\,(\nabla / C_{DL})^{1/3} \quad [m] \tag{1}$$

$$B = (C_{BT} \cdot \nabla)/(C_P \cdot C_M \cdot L_{WL})^{1/2} \quad [m] \tag{2}$$

$$T = \nabla/(C_P \cdot C_M \cdot L_{WL} \cdot B) \quad [m] \tag{3}$$

$$H_{T10} = L_{WL} / C_{LH} \quad [m] \tag{4}$$

Projektne varijable brodske forme generiraju se primjenom generatora slučajnih brojeva u odgovarajućim rasponima, a primjer generiranja populacije uravnoteženih projekata prikazan je u Prilogu 3. i 4.

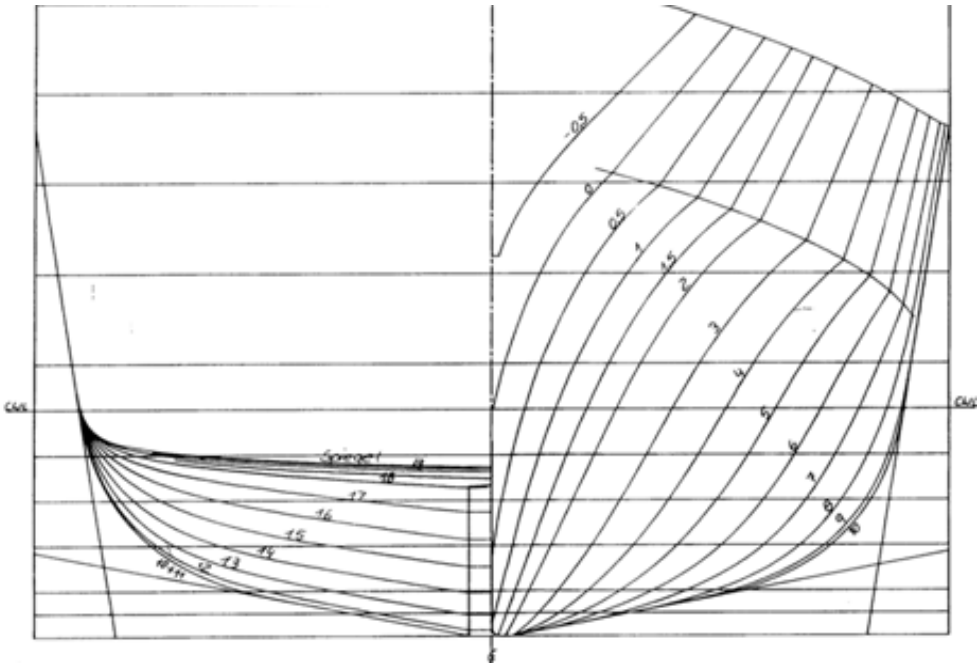
3.5.1 Brodska forma, koeficijenti, glavne izmjere i omjeri

Brodska forma projektnog modela je poludeplasmanska s izraženim dubokim V pramčanim rebrima, U krmenim rebrima i oštrim ulaznim pramčanim kutom vodne linije. Uzdužnice forme se podižu prema krmi i na krmenom dijelu su ravne crte koje završavaju na djelomično uronjenom krmenom zrcalu koje je obično nešto šire u usporedbi sa deplasmanskim formama. Primjer poludeplasmanske forme preuzet iz [17] prikazan je na Slici 5. Poludeplasmanska forma je odabrana iz razloga što može najbolje odgovoriti na zahtjevane brzine za ovaj tip broda, zadovoljiti kriterije stabiliteta, te ima dobre pomorstvene značajke. Kako je prikazano u [18] odabir brodske forme je ovisan o omjeru brzine broda i drugog korijena duljine broda na vodnoj liniji.

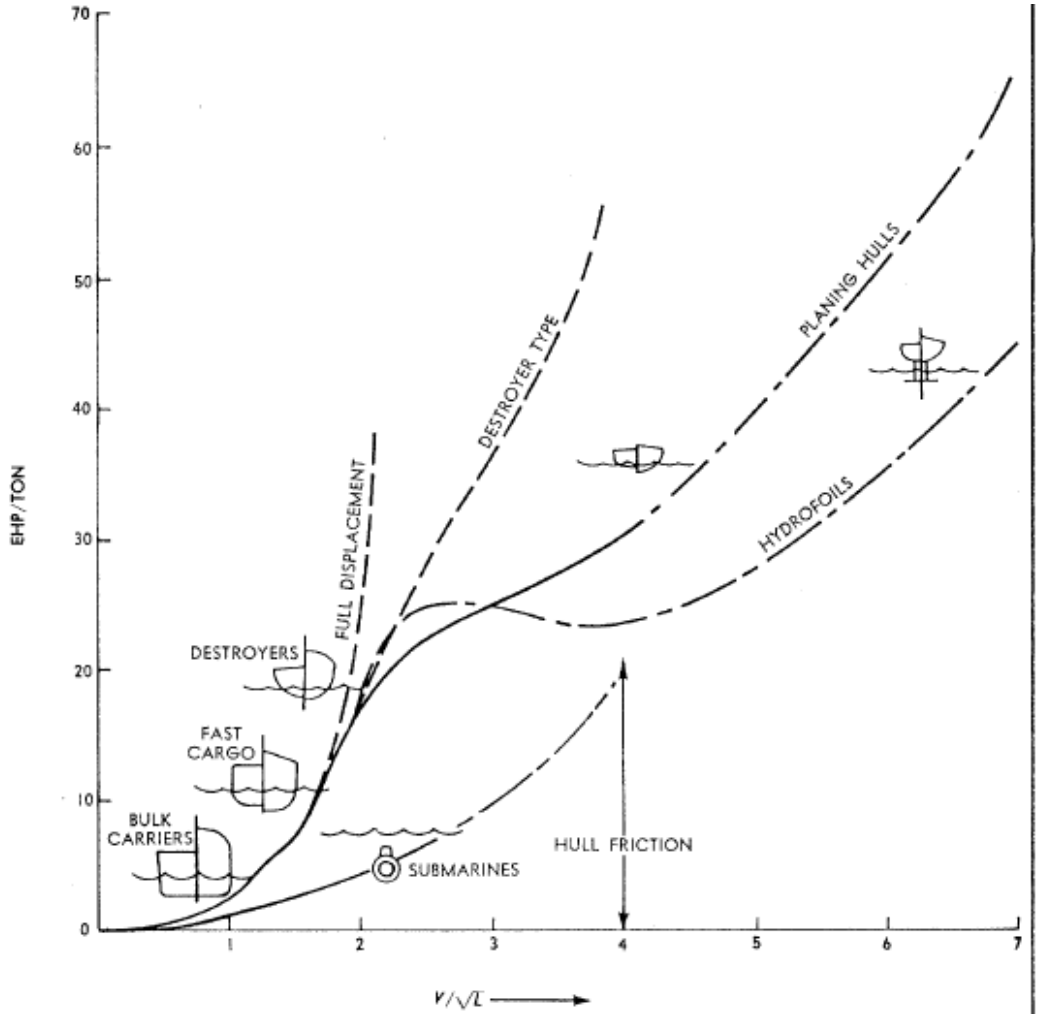
$$K_{VKL} = \frac{U}{\sqrt{L_{WL}}} \qquad [\text{čv}/(\text{ft})^{0.5}] \text{ ili } [0{,}9318((\text{m/s})/(\text{m})^{0.5})] \tag{5}$$

Za poludeplasmanske forme taj omjer se kreće u rasponu od 1.3 do 3, što se vidi na Slici 6. preuzetoj iz [18]. Ovakva forma dobiva pozitivni dinamički tlak u krmenom dijelu, što izdiže trup broda, utječe na smanjenje oplakane površine i trima, te smanjuje otpor broda. Dinamički tlak je umjerene veličine pa su zbog toga ove forme dobile naziv poludeplasmanske ili polugliserske. U [17] je navedeno da je brodska forma za brod veličine korvete uglavnom deplasmanskog tipa, ali to se odnosi na veće korvete čija duljina je iznad 60 metara i istisnina iznad 1000 tona što je izvan okvira ovog projektnog modela. Iako se ovaj projektni model neće baviti razvijanjem brodske forme u obliku brodskih linija, njihova izrada bi slijedila fazu konceptualnog projektiranja tijekom izrade glavnog projekta broda. Konceptualni projekt mora definirati dovoljno podataka o geometriji broda kako bi se brodske linije mogle jednostavno i brzo generirati. U cilju postizanja što boljih pomorstvenih značajki te dobivanja prostora za smještaj opreme i posade brod će imati pramčani kaštel koji će se protezati od sredine broda do pramca. Pramčani kaštel je kontinuirani nastavak trupa broda i u projektnom modelu se smatra dijelom trupa broda a ne nadgrađa. Na pramčanom kaštelu se nalazi nadgrađe koje ima dvije razine. Prva razina su brodski prostori u kojima će biti prostori za posadu (časnički salon, dočasnički salon, kuhinja, ambulanta i radio kabina). Nadgrađe će biti uže od širine palube pramčanog kaštela sa svake strane za jedan metar kako bi se omogućila nesmetana komunikacija prema pramčanom dijelu broda. Na drugoj razini je kormilarnica na pramčanom dijelu prve razine i jarbol na krmenom dijelu prve razine. Na Slici 7., 8., 9., 10. i 11. su prikazane glavne geometrijske značajke forme projektnog modela. U cilju postizanja jasnoće i kompatibilnosti terminologije nazivlja brodske forme definicije glavnih izmjera,

njihovih omjera, te koeficijenata objašnjene su u nomenklaturi i prikazani u 3.5.1.1 i 3.5.1.2. Potrebno je naglasiti kako je u projektnom modelu korišten uzdužni prizmatički koeficijent koji je prikladniji od koeficijenta punoće jer bolje opisuje raspodjelu istisnine ratnog broda po duljini. Isto tako korišten je volumetrijski koeficijent koji predstavlja omjer volumena istisnine i $(0.1L)^3$ zbog toga što je projektni model baziran na traženju projekta broda koji zadovoljava zahtijevani volumen. U cilju dobivanja projektnog modela generičkog tipa ratnog broda, forma broda može biti i deplasmanskog tipa. Sve glavne izmjere, omjeri i koeficijenti iz 3.5.1.1 i 3.5.1.2 vrijede i za deplasmansku formu. Kada bi model uključio deplasmansku formu cijeli matematički model, osim granica varijabli, ostao bi nepromijenjen dok bi promjene nastale u izlaznim rezultatima tj. dobivena preferirana projektna rješenja bi se nalazila u području koje je karakteristično za deplasmansku formu (npr. koeficijenti C_B, C_P bi bili veći). To bi najviše utjecalo na fazu projekta u kojoj se razvijaju brodske linije što nije u domeni ovog rada.



Slika 5. Primjer poludeplasmankse forme [17]



Slika 6. Relativna snaga otpora u odnosu na omjer brzine i drugog korijena iz L_{WL} [18]

Prijevod i objašnjenje pojmova sa Slike 6:

Bulk carriers – brod za prijevoz rasutog tereta,

Fast cargo – brzi teretni brod,

Destroyers – razarači,

Full displacement – krivulja otpora deplasmanskih brodova,

Destroyer type – krivulja otpora brodova s formom razarača,

Planning hulls – krivulja otpora brodova s gliserskom formom,

Hydrofoils – krivulja otpora hidrokrilnih brodova,

Submarines – podmornice,

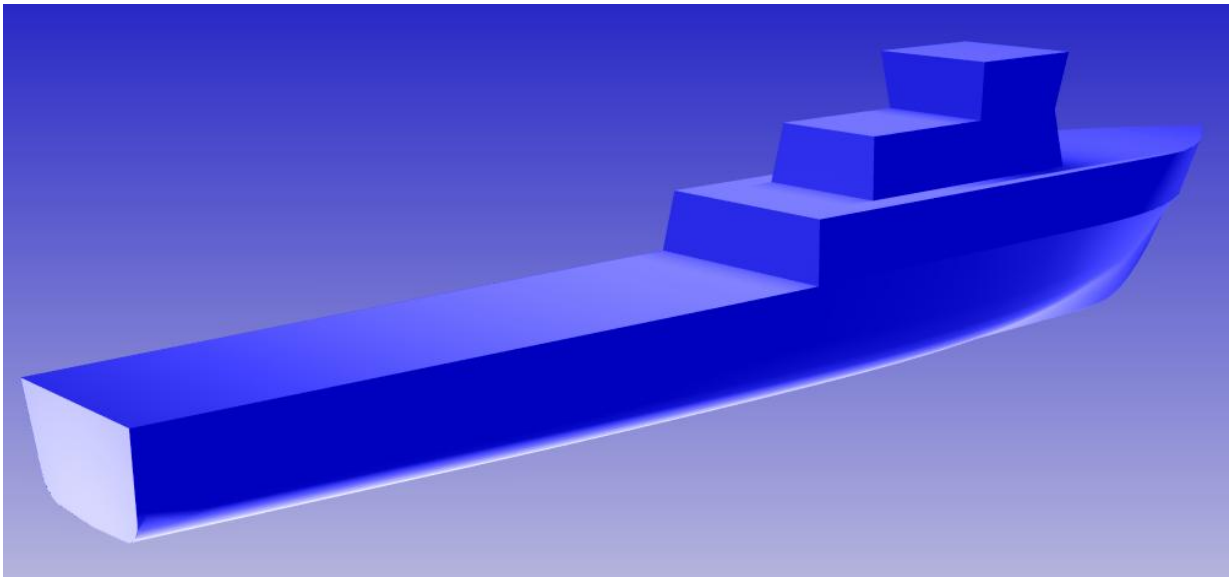
Hull friction – otpor trenja,

1 EHP = 0.747 kW

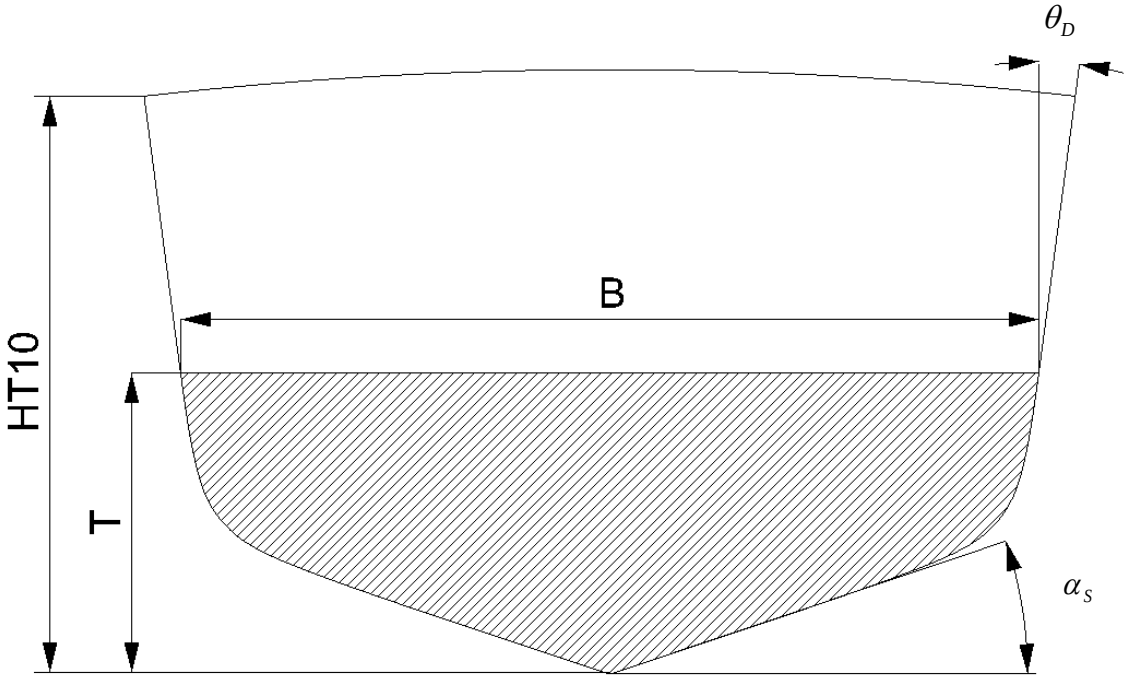
L (ft), 1 ft = 0.3048 m

V (čv), 1 čv = 1.852 km/h = 0.51444 m/s

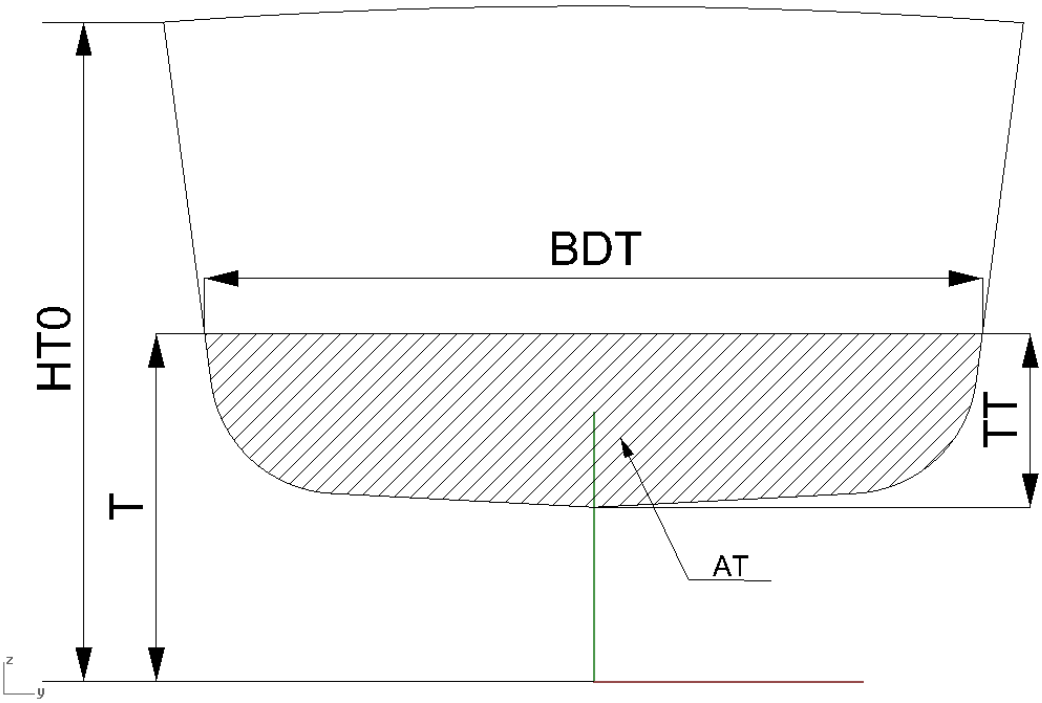
1 long ton = 1.016 tona



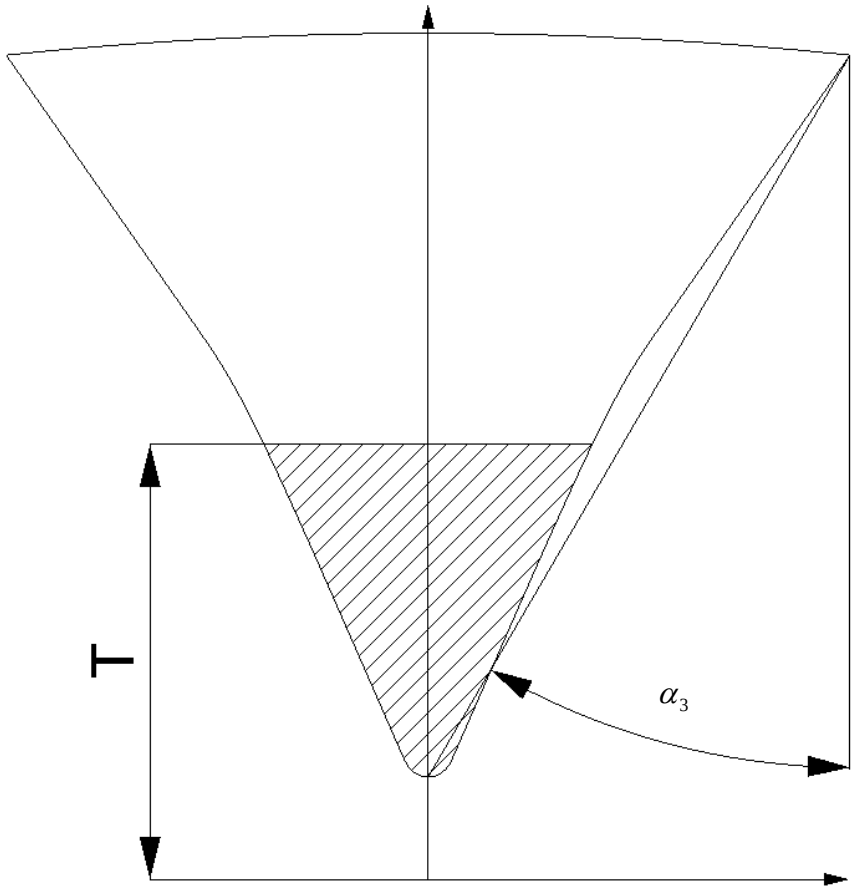
Slika 7. 3D prikaz brodske forme



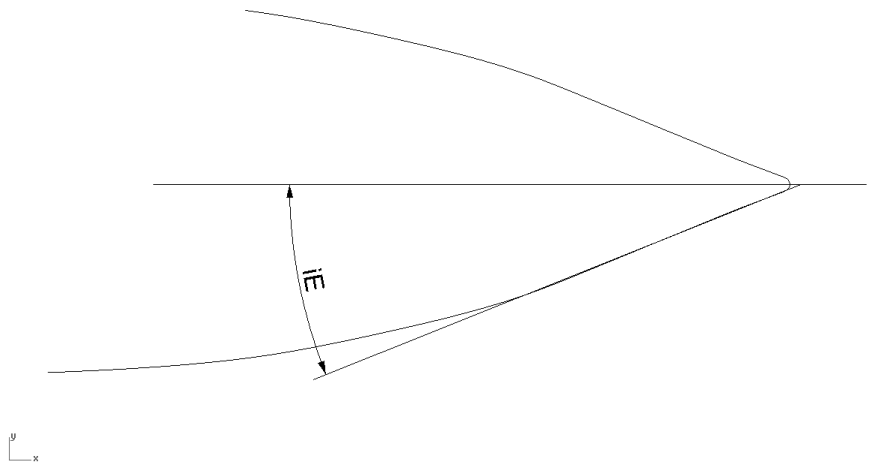
Slika 8. Geometrija glavnog rebra brodske forme



Slika 9. Geometrija zrcala brodske forme



Slika 10. Geometrija rebra na 0.15L_{WL} od FP



Slika 11. Ulazni kut vodne linije na pramcu

3.5.1.1 Glavne izmjere i koeficijenti forme projektnog modela

Tablica 4. Glavne izmjere i koeficijenti forme projektnog modela

Glavne izmjere forme									
L_{OA}	L_{WL}	L_{PP}	L_S	L_{PK}	B	B_{DT}	B_{GR}	B_d	B_N
T	T_T	H_{T0}	H_{T10}	H_{T20}	F_0	F_{10}	F_{20}	L_{CB}	H_{IP}
Volumen, površine i nagibi oplate									
∇	A_M	A_{WL}	A_T	A_{BT}	θ_D	α_S	α_3	iE	
Koeficijenti forme									
C_{LB}	C_{BT}	C_{LH}	C_{RD}	C_M	C_{WP}	C_{TR}	C_{DL}	C_P	C_B

3.5.1.2 Omjeri glavnih izmjera i koeficijenti forme

$$C_{LB} = L_{WL} / B \tag{6}$$

$$C_{BT} = B / T \tag{7}$$

$$C_{LH} = L_{WL} / H_{T10} \tag{8}$$

$$C_{RD} = L_{PK} / L_{WL} \tag{9}$$

$$C_M = A_M / (B \cdot T) \tag{10}$$

$$C_{WP} = A_{WL} / (L \cdot B) \tag{11}$$

$$C_{TR} = A_T / A_M \tag{12}$$

$$C_{DL} = \nabla / (0.1 \cdot L_{WL})^3 \tag{13}$$

$$C_P = \nabla / (A_M \cdot L_{WL}) \tag{14}$$

$$C_B = \nabla / (L_{WL} \cdot B \cdot T) \tag{15}$$

U 3.5.1.1 i 3.5.1.2 su zajedno s parametrima forme prikazane i pojedine projektne varijable forme u cilju jasnijeg opisa forme. Sve projektne varijable projektnog modela su prikazane u 3.3.

3.5.2 Otpor broda

Otpor broda u projektnom modelu je riješen primjenom regresijske analize modelskih ispitivanja i testiranja većeg broja brodova u naravi iz [19] i [20]. U [19] metoda se bavi određivanjem otpora deplasmanskih brodova, dok je u drugom radu proširena na brže vitkije forme za Froudeove brojeve iznad 0.5, te se temelji na rezultatima testova na 334 modela. U ovom radu će se prikazati osnovni izrazi za otpor broda iz [19] i [20] koji su korišteni u projektnom modelu za proračun otpora. Koeficijenti (c1 do c16, m1, m2 i λ) u izrazima za komponente otpora nisu dani u ovom radu, a detalji o njima mogu se vidjeti u [19] i [20]. S obzirom da se ovaj rad bavi konceptualnim projektnim modelom težište je na otporu broda bez detaljnijeg proračuna i optimizacije vijaka. Za tu potrebu korišten je aproksimativni izraz za određivanje promjera vijaka iz [9]. Alternativno rješenje s detaljnom obradom propulzije prikazano je u 3.5.3.

Sukladno [20] ukupni otpor broda je:

$$R_T = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \ \text{[kN]} \tag{16}$$

Koeficijent forme trupa dan je izrazom:

$$1+k_1 = 0.93 + 0.487118 \cdot c_{14}(B/L)^{1.06806}(T/L)^{0.46106}(L/L_R)^{0.121563}(L^3/\nabla)^{0.0.36486}(1-C_P)^{-0.604247} \tag{17}$$

L_R je parametar izražen izrazom:

$$L_R / L = 1 - C_P + 0.06 \cdot C_P \cdot lcb/(4\,C_P - 1) \ \text{[-]} \tag{18}$$

Oplakana površina trupa aproksimirana je sljedećim izrazom:

$$S = L\,(2T+B)\sqrt{C_M}\,(0.453 + 0.4425\,C_B - 0.2862\,C_M - 0.003467\,B/T + 0.3696\,C_{WP}) + 2.38\,A_{BT}/C_B \quad [m^2] \tag{19}$$

Sukladno [20] izrazi za otpor valova su ovisni o Froudeovom broju, te je za Fn < 0.4 otpor valova :

$$R_{W-A} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot Exp\{m_1 \cdot F_n^d + m_4 \cdot Cos(\lambda \cdot F_n^{-2})\} \quad [kN] \tag{20}$$

Otpor valova za Froudeov broj veći od 0.55:

$$R_{W-B} = c_{17} \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot Exp\{m_3 \cdot F_n^d + m_4 \cdot Cos(\lambda \cdot F_n^{-2})\} \quad [kN] \tag{21}$$

Otpor valova za Froudeov broj od 0.4 do 0.55:

$$R_W = R_{W-A0.4} + (10F_n - 4)(R_{W-B0.55} - R_{W-A0.4)}/1.5 \quad [kN] \tag{22}$$

Izraz za otpor privjesaka:

$$R_{APP} = 0.5\rho \cdot v^2 \cdot S_{APP}(1+k_2)_{eq} \cdot C_F \quad [kN] \tag{23}$$

Budući da detalji o privjescima broda u projektnom konceptualnom modelu nisu dovoljno detaljno određeni, rješavaju se tijekom detaljnog projektiranja broda, S_{APP} je određena po sličnom brodu i izražen kao postotak oplakane površine trupa broda, dok je koeficijent $1+k_2$ konstantan i za potrebe projektnog modela prema sličnom brodu iznosi 3.0.

Otpor bulba određen je izrazom:

$$R_B = 0.11\,Exp(-3\,P_B^{-2})F_{ni}^3 \cdot A_{BT}^{1.5} \cdot \rho \cdot g\,/(1+F_{ni}^2) \quad [kN] \tag{24}$$

gdje je P_B mjera izranjanja pramca, a F_{ni} Froudeov broj temeljen na uronjenom dijelu bulba.

$$P_B = 0.56\sqrt{A_{BT}}\,/(T_F - 1.5\,h_B) \text{ [-]} \tag{25}$$

$$F_{ni} = v/\sqrt{g\,(T_F - h_B - 0.25\sqrt{A_{BT}}) + 0.15\,v^2} \text{ [-]} \tag{26}$$

Otpor krmenog zrcala je:

$$R_{TR} = 0.5\rho \cdot v^2 \cdot A_T \cdot c_6 \quad [kN] \tag{27}$$

Korelacijski otpor model-brod uzima u obzir hrapavost trupa broda i otpor zraka, a dan je izrazom:

$$R_A = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_A \quad [kN] \tag{28}$$

gdje je C_A koeficijent korelacije:

$$C_A = 0.006\,(L_{WL}+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003\sqrt{L_{WL}/7.5} \cdot C_B{}^4 \cdot c_2(0.04 - c_4) \text{ [-]} \tag{29}$$

Proračun otpora je dio projektnog modela koji je ključan za pravilno funkcioniranje samouravnoteženog dijela projektnog modela koji rješava brodograđevni dio problema, te je na njemu proveden dvostruki test. Izrazi koji proračunavaju komponente otpora broda testirani su u Excelu a zatim je izrađen program koji je dao iste rezultate kao testni primjer iz [20]. Rezultati testa u Excelu prikazani su u Prilogu 1.

Postoje dva osnovna argumenta zbog čega je gore prikazana regresijska analiza primijenjena u projektnom modelu:

- U [20] je baza podataka modela proširena sa modelima brzih ratnih brodova što odgovara zahtjevima ovog projektnog modela,
- U [21] je napravljena usporedba oko deset različitih metoda određivanja preliminarnog otpora broda. Regresijska analiza iz [19] i [20] je odabrana kao najprihvatljivija za proračun preliminarnog otpora broda. U istom radu rezultati otpora metode iz [19] i [20] su uspoređeni s rezultatima modelskih ispitivanja za brod veličine korvete. U područjima

manjih brzina (od 5 do 15 čv) metoda je davala manje vrijednosti otpora dok je za raspon brzina od 25 do 35 čv metoda davala vrijednosti otpora veće za oko 10 % od modelskih ispitivanja. Iz navedenog proizlazi da su odstupanja za maksimalne brzine prihvatljiva za konceptualni projektni model dok su odstupanja za ophodnu brzinu znatno manja što smanjuje ukupna odstupanja u modelu.

Alternativa rješavanju otpora primjenom regresijske analize iz [19] i [20] je primjena regresijske analize iz [22]. Regresijska analiza iz [22] temelji se na velikoj bazi podataka koja sadrži podatke o otporu velikog broja modela i tipova brodova. Cilj rada [22] bio je izrada programa za predviđanje preliminarnog otpora broda koji pokriva veliki raspon brzina i parametara brodske forme. Iz navedenog razloga regresijska analiza iz [22] bi imala prednost u odnosu na regresijsku analizu iz [19] i [20]. Regresijska analiza iz [22] je uspoređena s drugim metodama u [21] te su uspoređeni rezultati s modelskim ispitivanjima broda tipa korvete. Odstupanja metode u odnosu na modelska ispitivanja su u prosjeku manja od 5% što je bolji rezultat u usporedbi s metodom iz [19] i [20]. Sukladno [22] koeficijent dodatnog otpora golog trupa broda se može izraziti kao:

$$CR = f(D_L, B/T, C_P, C_M, iE, C_{RT}, T_W, T_T, B_A, C_{WS})\ [-] \tag{30}$$

Broj parametara koji su u funkciji dodatnog otpora golog trupa broda je minimalan dok su svi drugi parametri koji imaju manji utjecaj na dodatni otpor zanemareni. Na taj način je metoda pojednostavljena ali ipak daje prihvatljive rezultate za određivanje preliminarnog otpora broda. U ovoj metodi otpor trenja oplakane površine izračunava se na standardan način primjenom ITTC formule iz 1957.

Treća mogućnost izračuna preliminarnog otpora broda je primjenom regresijske analize koja je detaljno opisana u [23].

U slučaju da se predmetni projektni model želi upotrijebiti za manje brze ratne brodove gliserske forme, otpor broda se može izračunati primjenom [24] i [25]. U navedenim radovima je razvijen empirički model za određivanje otpora gliserskih prizmatičkih brodskih formi koji se temelji na određivanju hidrodinamičkih značajki prizmatičkih glisirajućih površina.

3.5.3 Propulzija broda

Propulzijski sustav ratnog broda jedan je od ključnih sustava u cilju osiguranja njegovog učinkovitog funkcioniranja i uporabe. S obzirom da se radi o brzim brodovima propulzijski sustav je izrazito opterećen, izložen vibracijama i kavitaciji. Iz navedenog razloga potrebno je

posvetiti punu pažnju njegovom pravilnom dimenzioniranju kako u konceptualnoj tako i detaljnoj fazi projektiranja. Kao što je prethodno spomenuto propulzijski sustav predmetnog projektnog modela je koncipiran na sljedeći način:

- Značajke pogonskih strojeva uključujući reduktore su poznate i unaprijed odabrane iz kataloga proizvođača, a svi potrebni podaci o snazi, masama, položaju težišta, broju okretaja pohranjeni u obliku baze podataka.
- Osovinski vodovi su dimenzionirani primjenom izraza iz [35] dok je njihova duljina u funkciji duljine broda i vrste propulzora.
- Značajke ležajeva i skrokova osovinskih vodova su predviđene primjenom podataka sa sličnog broda.

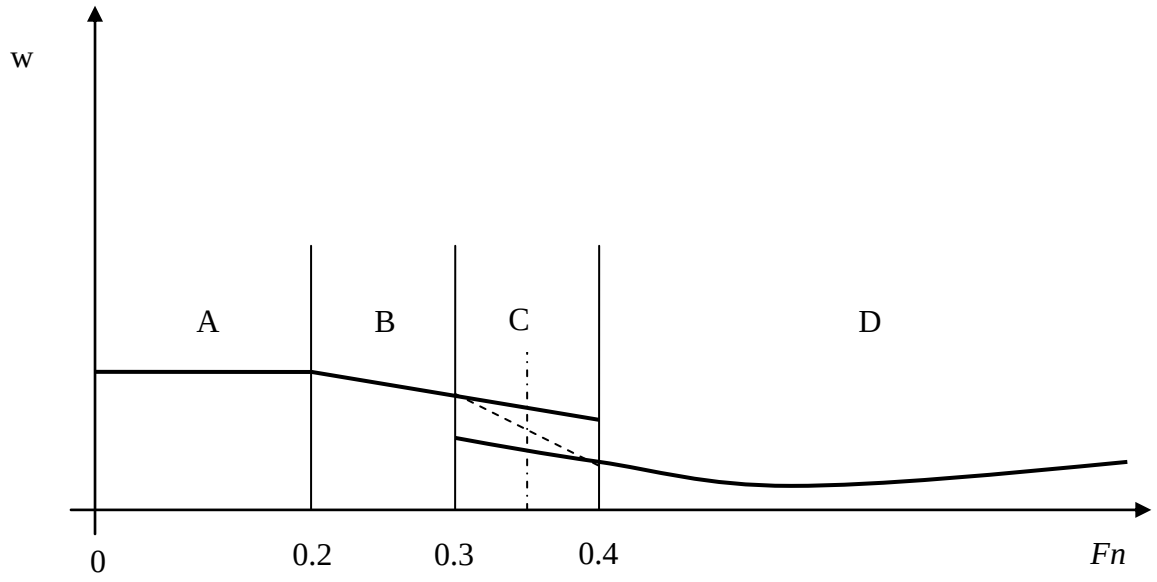
Najzahtjevniji dio pogonskog sustava je propulzor čije određivanje glavnih značajki je prikazano u nastavku ovog podpoglavlja. Moguće je primijeniti podatke iz nekoliko sistematskih serija propelera kao i regresijske formule za K_T i K_Q koeficijente. Postupak određivanja optimalnog propelera je iterativan i zahtjeva dosta vremena zbog čega je primijenjena pojednostavljena metoda koja je objavljena u [26], a koja primjenjuje Newton-Rader propeler promjenjivog uspona. Propeler se projektira za jednu projektnu brzinu a to je obično maksimalna kontinuirana brzina. Izvod izraza iz pojednostavljene metode iz [26] za optimalni promjer propelera prikazan je u [30] a temelji se na omjeru $\frac{K_T}{J^2}$. Konačni izraz za promjer optimalnog propelera je:

$$D_0 = \frac{1.0855}{(1-w)\cdot F_{FL}} \sqrt{\frac{R_T}{N_{PROP}(1-t)\cdot\{1245 - F_{FL}[7.22 + F_{FL}(17.7 - F_{FL})]\}}} \quad \text{[m]} \quad (31)$$

Promjer vijka ograničen je izrazom $D_P \le T(\frac{D_{MAX}}{T})$, a stvarni vijak ima promjer $D_P = D_0$ za $D_0 \le D_{MAX}$, $D_P = D_{MAX}$ za $D_0 \succ D_{MAX}$. Za proračun D_0 potrebno je prethodno izračunati koeficijent sustrujanja, koeficijent smanjenog poriva i rotativni koeficijent koji se primjenjuju u izrazu za snagu. Navedeni koeficijenti određuju se primjenom približnih izraza dobivenih regresijskom analizom. U cilju pokrivanja potrebnog raspona brzina preuzeti su izrazi više autora i to [19] i [20] te [27] i [28]. Nedostatak izraza iz [27] je u tome što postoji razlika u vrijednostima koeficijenta za $C_B \prec 0.45$ i $C_B \succ 0.45$ zbog čega se pojavljuje skok u prijelaznom području. Taj problem je riješen na način da se u području oko $C_B = 0.45$ koeficijenti interpoliraju iz dva izraza primjenom kubne parabole. Kompletni izrazi za propulzijske koeficijente preuzeti su iz [30].

3.5.3.1 Koeficijent sustrujanja

Za područje nižih brzina primjenjuje se izraz iz [19] i [20], a za veće brzine modificirani izrazi iz [27]. Na Slici 12. skiciran je koeficijent i područje interpolacije.



Slika 12. Koeficijent sustrujanja [30]

Izrazi za koeficijent sustrujanja za pojedina područja Fn su:

$$Fn \leq 0.2 \qquad w_A = 0.165 \cdot C_B^2 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{L_{WL}}{B}\right)\left(\frac{B}{T}\right)}{M_O \cdot \left(\frac{D_{MAX}}{T}\right)}} \text{ [-]} \tag{32}$$

$$0.2 \prec Fn \leq 0.3 \qquad w_B = w_A - 0.1 \cdot (Fn - 0.2) \text{ [-]} \tag{33}$$

$$0.3 \prec Fn \leq 0.4 \qquad w_C = 10 \cdot \left[(0.4 - Fn) \cdot w_B + (Fn - 0.3) \cdot w_D\right] \text{ [-]} \tag{34}$$

$$0.4 \prec Fn \qquad w_D = w_i \text{ [-]} \tag{35}$$

gdje je

$$w_1 = 0.00343 + F_\nabla \left\{0.11152 - F_\nabla \cdot \left[0.2757 - F_\nabla \cdot (0.1633 - 0.02828 \cdot F_\nabla)\right]\right\} \text{ [-]} \tag{36}$$

$$w_2 = -0.39857 + F_\nabla \left\{1.7369 - F_\nabla \cdot \left[2.26262 - F_\nabla \cdot (1.14525 - 0.19804 \cdot F_\nabla)\right]\right\} \text{ [-]} \tag{37}$$

$$C_B \prec 0.41 + 0.01 \cdot N_{PROP} \qquad w_i = w_1 \text{ [-]} \tag{38}$$

$$0.41 + 0.01 \cdot N_{PROP} \prec C_B \prec 0.043 + 0.01 \cdot N_{PROP} \qquad w_i = w_1 + (w_2 - w_1) \cdot F_{BI} \text{ [-]} \tag{39}$$

$$0.43 + 0.01 \cdot N_{PROP} \prec C_B \qquad w_i = w_2 \text{ [-]} \tag{40}$$

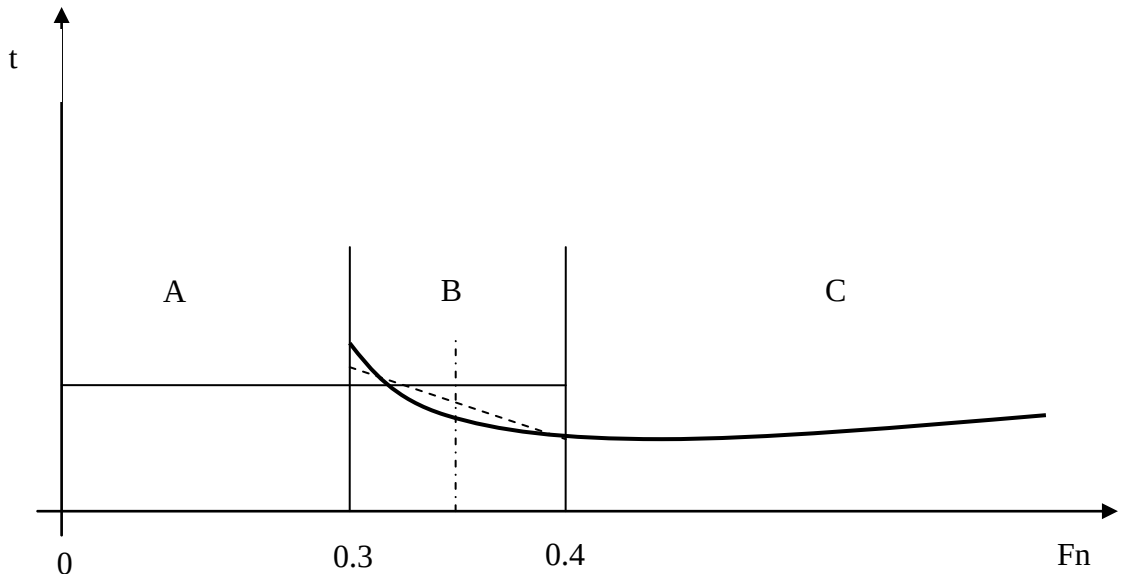
gdje je

$$F_{BI} = 0.25 \cdot 10^6 \cdot (0.44 + 0.01 \cdot N_{PROP} - C_B) \cdot (C_B - 0.01 \cdot N_{PROP} - 0.41)^2 \text{ [-]} \quad (41)$$

$$F_{\nabla} = Fn \cdot \sqrt{M_O} \text{ [-]} \quad (42)$$

3.5.3.2 Koeficijent smanjenog poriva

Za izraz koeficijenta smanjenog poriva za manje brzine primijenjen je izraz iz [19] i [20] a za veće brzine modificirani izraz iz [27]. Na Slici 13. prikazan je koeficijent i područje interpolacije.



Slika 13. Koeficijent smanjenog poriva [30]

$$Fn \le 0.3 \qquad t_A = 0.325 \cdot C_B - 0.1885 \frac{\left(\frac{D_{MAX}}{T}\right)}{\sqrt{\frac{B}{T}}} \text{ [-]} \quad (43)$$

$$0.3 \prec Fn \le 0.4 \qquad t_B = 10 \cdot \left[(0.4 - Fn) \cdot t_A + (Fn - 0.3) \cdot t_C\right] \text{ [-]} \quad (44)$$

$$0.4 \prec Fn \qquad t_C = t_i \text{ [-]} \quad (45)$$

$$t_1 = 0.36479 - F_{\nabla} \left\{0.68502 - F_{\nabla} \cdot \left[0.69963 - F_{\nabla} \cdot (0.34875 - 0.067 \cdot F_{\nabla})\right]\right\} \text{ [-]} \quad (46)$$

$$t_2 = 3.3607 - F_{\nabla} \left[10.35979 - F_{\nabla} \cdot (10.39454 - F_{\nabla} \left\{1.09837 + F_{\nabla} \left[4.29819 - F_{\nabla} (2.5399 - 0.43569 \cdot F_{\nabla})\right]\right\})\right] \quad (47)$$

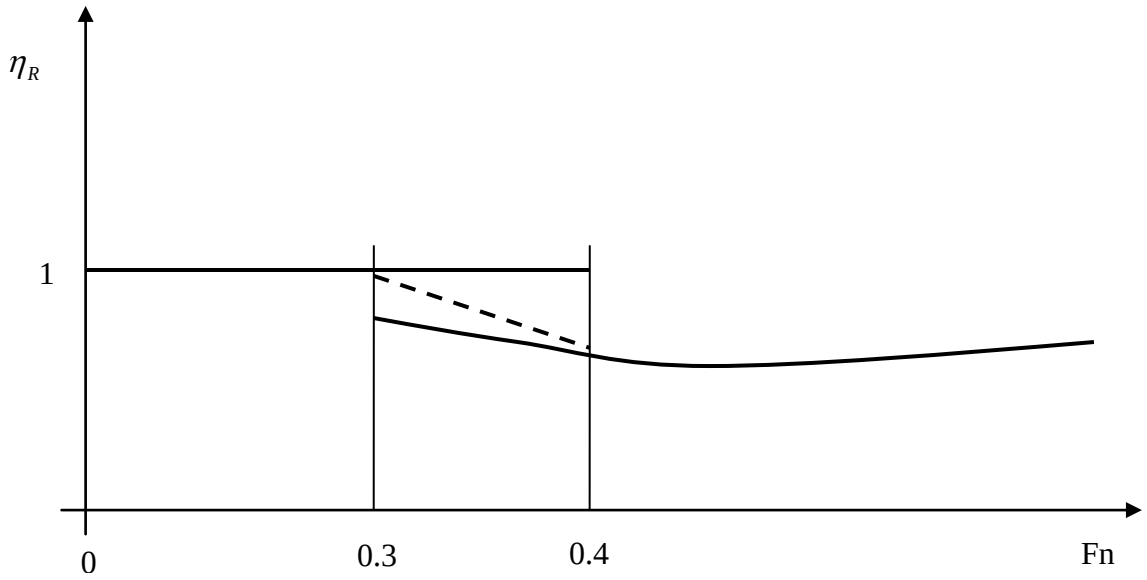
$$C_B \prec 0.41 + 0.01 \cdot N_{PROP} \qquad t_i = t_1 \text{ [-]} \quad (48)$$

$$0.41 + 0.01 \cdot N_{PROP} \prec C_B \prec 0.043 + 0.01 \cdot N_{PROP} \qquad t_i = t_1 + (t_2 - t_1) \cdot F_{BI} \text{ [-]} \quad (49)$$

$$0.43 + 0.01 \cdot N_{PROP} \prec C_B \qquad t_i = t_2 \text{ [-]} \quad (50)$$

3.5.3.3 Relativni rotativni koeficijent

Slično proračunu za w i t može se proračunati η_R prema [27]. Za niže brzine $\eta_R = 1$. Na Slici 14. prikazan je relativni rotativni koeficijent.



Slika 14. Relativni rotativni koeficijent [30]

$$\eta_{R1} = 0.81524 + F_\nabla \{0.43985 - F_\nabla \cdot [0.47333 - F_\nabla \cdot (0.19918 - F_\nabla \cdot (0.02351 + 0.00201 \cdot F_\nabla))]\} \quad [-] \qquad (51)$$

$$\eta_{R2} = 1.82061 - F_\nabla \{2.30128 - F_\nabla \cdot [2.43687 - F_\nabla \cdot (1.17665 - 0.21122 \cdot F_\nabla)]\} \quad [-] \qquad (52)$$

$$C_B \prec 0.41 + 0.01 \cdot N_{PROP} \qquad \eta_{Ri} = \eta_{R1} \quad [-] \qquad (53)$$

$$0.41 + 0.01 \cdot N_{PROP} \prec C_B \prec 0.043 + 0.01 \cdot N_{PROP} \qquad \eta_{Ri} = \eta_{R1} + (\eta_{R2} - \eta_{R1}) \cdot F_{BI} \quad [-] \qquad (54)$$

$$0.43 + 0.01 \cdot N_{PROP} \prec C_B \qquad \eta_{Ri} = \eta_{R2} \quad [-] \qquad (55)$$

$$Fn \le 0.3 \qquad \eta_R = 1 \quad [-] \qquad (56)$$

$$0.3 \prec Fn \le 0.4 \qquad \eta_R = 10 \cdot [0.4 - Fn + (Fn - 0.3) \cdot \eta_{Ri}] \quad [-] \qquad (57)$$

$$0.4 \prec Fn \qquad \eta_R = \eta_{Ri} \quad [-] \qquad (58)$$

3.5.3.4 Iskoristivost propelera i snaga na osovini

Izraz za iskoristivost propelera je preuzet iz [30] :

$$\eta_0 = 1.46 \cdot 10^{-4} \cdot \{13.46 - F_{D0}[2.832 + 1.638 \cdot F_{FN} + F_{D0} \cdot (3.286 - F_{FN})]\} \cdot [354 + F_{FN} \cdot (6.57 - F_{FN})] \quad [-] \qquad (59)$$

gdje je

$$F_{D0} = \left(\frac{D}{D_0} - 1 \right)^2 \text{ [-]} \tag{60}$$

za $$Fn \prec \frac{2.957}{\sqrt{L_{WL}}} \quad F_{FN} = 2.957 \text{ [-]} \tag{61}$$

za $$Fn \succ \frac{2.957}{\sqrt{L_{WL}}} \quad F_{FN} = \sqrt{L_{WL}} \cdot Fn \text{ [-]} \tag{62}$$

Primjenom propulzijskih koeficijenata dobiva se izraz za snagu na jednoj osovini:

$$P_{SH} = \frac{\sqrt{g} \cdot \rho_m}{\rho} \cdot \frac{Fn \cdot \sqrt{L_{WL}} \cdot R_T}{N_{PROP} \cdot \frac{1-t}{1-w} \cdot \eta_0 \cdot \eta_R \cdot \eta_S} \text{ [kW]} \tag{63}$$

$\eta_S = 0.935$ za osovinski vod s reduktorom,

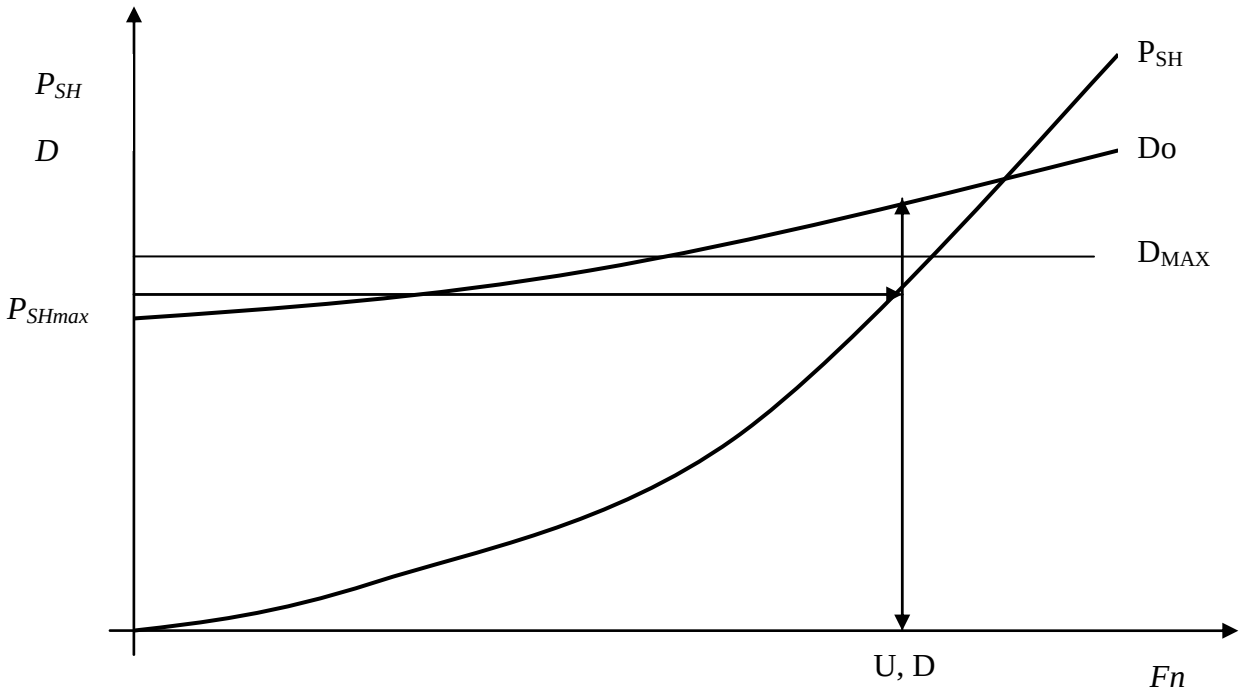
$\eta_S = 0.95$ za sam osovinski vod

Z a određivanje P_{MCR} na snagu na osovini dodaje se rezerva snage zbog pada brzine zbog obraštanja, vjetra, valova i propadanja strojeva izražena koeficijentom k_R.

$$P_{MCR} = k_R \cdot P_{SH} \text{ [kW]} \tag{64}$$

3.5.3.5 Određivanje postizive brzine broda i promjera vijka

Budući da je snaga pogonskih motora poznata potrebno je odrediti postizivu brzinu za zadanu snagu na osovini. Na sličan način se mogu odrediti i druge brzine kao što je brzina ophodnje. Na Slici 15. prikazano je određivanje postizive brzine za zadanu snagu na osovini.



Slika 15. Određivanje brzine broda i promjera propelera za zadanu snagu [30]

Za seriju *Fn* izračunava se otpor, koeficijenti propulzije, optimalni promjer vijka te snaga na osovini. Zatim se sa zadanom snagom na osovini ulazi u dijagram kao što je prikazano na Slici 15. te se određuje pripadna postiziva brzina. Nakon toga se za istu brzinu odredi optimalni promjer vijka kako je prikazano na Slici 15.

3.5.3.6 Propulzijski koeficijenti vodomlaznog propulzora

Kao što je prethodno spomenuto vodomlazni propulzor je za razliku od propelera odabran iz kataloga proizvođača na temelju snage glavnih pogonskih strojeva. Iz kataloga se mogu dobiti sve pripadne značajke propulzora kao što su ugradbene dimenzije, masa, vertikalni položaj težišta itd. Propulzijske značajke vodomlaznog propulzora se određuju preko tzv. kvazi propulzijskog koeficijenta koji se prema [31] može izraziti u obliku:

$$Q_{PC} = \eta_j \cdot \eta_p \text{ [-]} \tag{65}$$

gdje su:

η_j - učinkovitost propulzora koja se temelji na omjeru korisnog rada predanog brodu i ukupnog rada propulzora,

η_p - učinkovitost pumpe propulzora.

Sukladno [31] za brze patrolne brodove poludeplasmanske forme Q_{PC} iznosi oko 0.53 pa se zbog sličnosti ta vrijednost može primijeniti i za potrebe ovog projektnog modela. Brodovi s

vodomlaznim propulzorom obično nemaju reduktor, a osovina je znatno kraća pa se gubitci prijenosa mogu zanemariti. U tom slučaju snaga na osovini se može prikazati izrazom:

$$P_{SH} = \frac{R_T \cdot U}{Q_{PC}} \text{ [kW]} \tag{66}$$

Detaljan izvod izraza za Q_{PC} vodomlaznog propulzora prikazan je u [31].

3.5.3.7 Kavitacija propelera

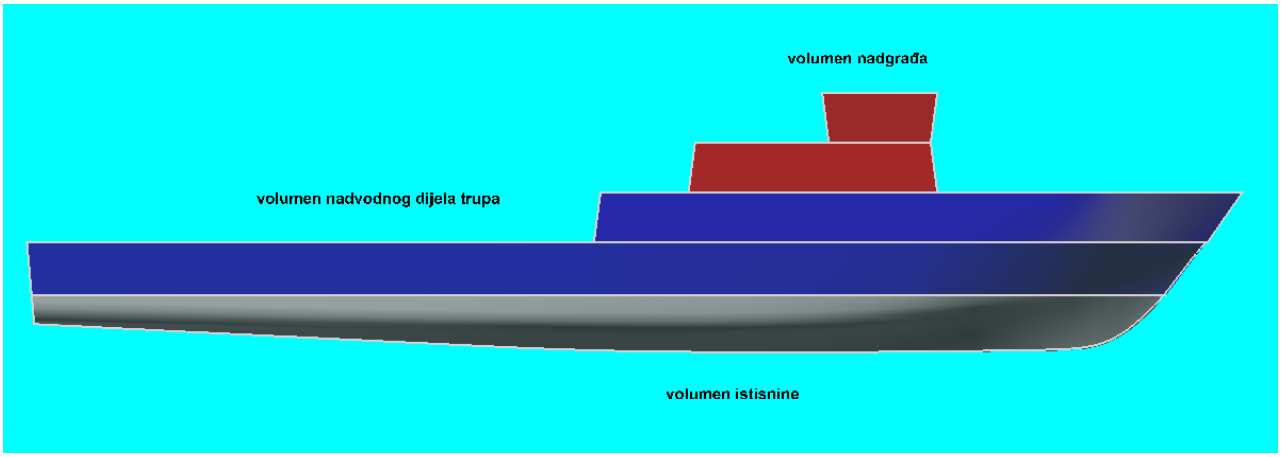
Nakon određivanja optimalnog promjera propelera koji je obično u funkciji maksimalnog gaza na krmi potrebno je provjeriti mogućnost pojave kavitacije na propeleru. Za provjeru kavitacije može se primijeniti modificirani Kellerov izraz [32] :

$$T_P = 2400 \cdot (0.8 \cdot D_P + 9.845) \cdot D_P^2 \quad \text{[kN]} \tag{67}$$

Prema tom kriteriju propeler mora proizvesti zahtijevanu brzinu bez prelaska nominalnog broja okretaja. Radi se o iterativnom procesu u kojem se izjednačava poriv propelera i otpor broda. Kriterij prihvatljivosti propelera je u postizanju nominalnog broja okretaja sa snagom manjom od P_{MCR}.

3.5.4 Dostupni volumen trupa i nadgrađa

Ovaj dio rada bavi se određivanjem ukupnog dostupnog volumena broda koji se sastoji od volumena trupa i volumena nadgrađa. Volumen trupa proračunava se na način da se proračuna volumen nadvodnog dijela trupa dok podvodni dio predstavlja volumen istisnine koji je poznat. U trup projektnog modela spada i pramčani kaštel broda, dok se volumen nadgrađa dobiva iterativno u procesu uravnoteženja masa i površina/volumena broda. Izračunati dostupni volumeni se koriste kod izračuna električne bilance tj. pojedinih stavki potrebne električne snage instalirane na brodu, proračuna pojedinih masa broda, te za provjeru projekata vezano za dostupni i zahtijevani volumen broda. Podjela dostupnih volumena broda ilustrirana je na Slici 16.

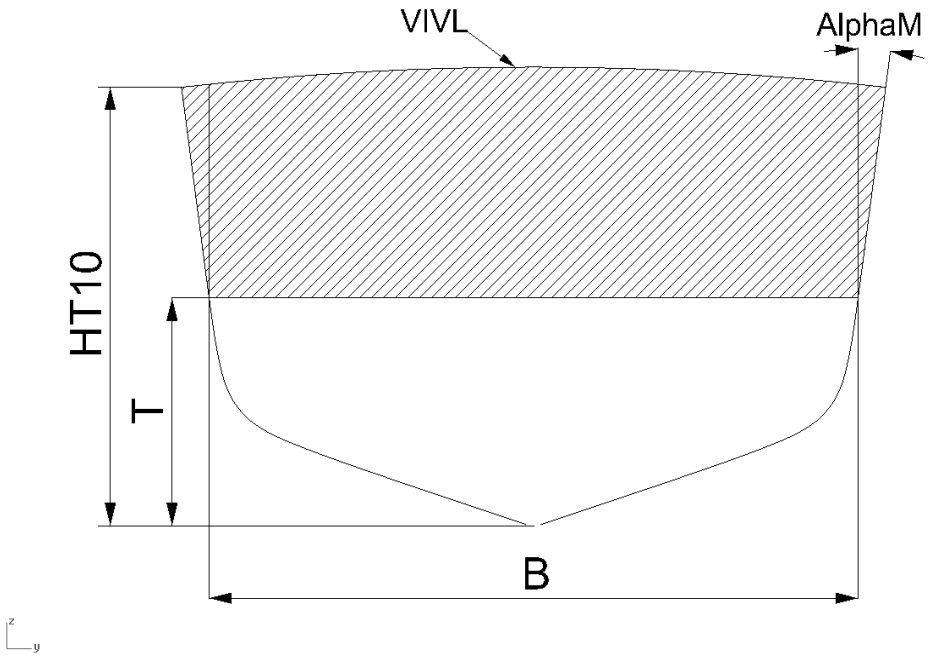


Slika 16. Dostupni volumeni projektnog modela

Volumen trupa iznad VL bez pramčanog kaštela dobije se iz izraza koji proizlazi iz jednostavnih geometrijskih relacija sa Slike 17:

$$V_{AVL} = F_0^{\,2} \cdot tg(\alpha_M) \cdot L_{WL} + L_{WL} \cdot B \cdot C_{WP} \cdot F_0 \quad \left[m^3\right] \tag{68}$$

gdje je V_{AVL} volumen trupa iznad VL bez pramčanog kaštela, F_0 je nadvođe na AP, a C_{WP} koeficijent VL, α_M srednji kut nagiba boka broda.



Slika 17. Volumen trupa iznad VL bez pramčanog kaštela

Volumen pramčanog kaštela je dobiven na način da se iz jednostavnih geometrijskih odnosa izračuna površina pramčanog kaštela. Za običnu izvedbu uzeto je da je kut nagiba boka pramčanog kaštela nula stupnjeva pa je volumen umnožak površine i prosječne visine između

paluba. Za izvedbu s nagnutom oplatom („stealth“) nagib boka pramčanog kaštela je zadana vrijednost koja je u granicama od 5 do 10 stupnjeva, a volumen se izračunava po slijedećem izrazu:

$$V_{FC} = A_{RFC} \cdot H_{IP} + 0.85\, H_{IP}{}^{2} \cdot tg(\alpha_{SKA})\,(1 - C_{RD})\, L_{WL} \quad \left[m^3\right] \tag{69}$$

gdje je V_{FC} volumen pramčanog kaštela, H_{IP} prosječna visina između paluba, α_{SKA} nagib boka kaštela, C_{RD} je parametar koji se varira u projektnom modelu u rasponu od 0.45 do 0.55 a predstavlja omjer duljine trupa na kojem se ne proteže kaštel i L_{WL}, A_{RFC} je površina pramčanog kaštela. Ukupni volumen trupa dobije se sumiranjem volumena istisnine, volumena trupa iznad VL bez pramčanog kaštela i volumena pramčanog kaštela. Ukupni dostupni volumen broda je suma volumena trupa i volumena nadgrađa:

$$V_{HT} = \nabla + V_{AVL} + V_{FC} \quad \left[m^3\right] \tag{70}$$

$$V_{TOT} = V_{HT} + V_S \quad \left[m^3\right] \tag{71}$$

Volumen strojarnice proračunava se po izrazu koji je preuzet iz [30]:

$$V_{MB1} = B \cdot T \cdot C_M\ (C_P + 9)/10\ [m^2] \tag{72}$$

$$V_{MB2} = (H_{T10} - T)(B + (H_{T10} - T)\, tg(\alpha_S)\ [m^2] \tag{73}$$

$$V_{MB} = X_{MB}\,(V_{MB1} + V_{MB2}) \quad \left[m^3\right] \tag{74}$$

gdje je X_{MB} ukupna duljina strojarnice što je zadano u projektnom modelu, $V_{MB1} + V_{MB2}$ je srednja površina poprečnog presjeka strojarnice, H_{T10} visina trupa broda na glavnom rebru, dok je α_S nagib boka broda na glavnom rebru.

3.5.5 Bilanca električne snage

Bilanca potrebne električne snage za projektni model riješena je sumiranjem električne snage svih trošila na brodu. Proračun potrošnje pojedinih trošila na brodu vezan je za prethodni proračun dostupnog volumena. Na primjer za proračun sustava klimatizacije potrebno je imati podatak o volumenu koji je potrebno hladiti. Obično se kod proračuna bilance potrebne električne snage ratnog broda istovremeno razmatra više scenarija i režima plovidbe kao što je borbena situacija, ophodnja, brod na sidru, brod u teglju u zimskim ili ljetnim uvjetima. Bilanca se određuje za svaki slučaj posebno, a najveća bilanca je mjerodavna za dimenzioniranje izvora električne energije na brodu. Za potrebe ovog rada bilanca električne snage se određuje na jednom pojednostavljenom slučaju kada je brod u borbenim uvjetima koji je najkritičniji, kada je u pogonu najveći dio brodskih sustava, a dobiva se sumiranjem

električne snage svih trošila na brodu, te uzimajući u obzir određenu razinu intermitencije. U projektnom modelu je predviđeno instaliranje tri diesel agregata, od kojih su dva smještena u strojarnici, rade paralelno za normalnu primjenu, dok je jedan u pričuvi instaliran u nadgrađu i koristi se u slučaju kad su oštećena dva agregata u strojarnici. Popis svih fiksnih trošila na brodu u projektnom modelu je izveden u obliku baze podataka koja predstavlja ulazne podatke modela. Ukupna zahtijevana električna snaga zapovjedno informacijskih i komunikacijskih sustava na brodu je određena temeljem karakteristika potrošnje konkretne opreme zapovjedno informacijskog i komunikacijskog sustava što su zadane vrijednosti u projektnom modelu:

$$P_{RC4I} = P_{RNR} + P_{RRNE} + P_{RFD} + P_{RBSON} + P_{RPLT} + P_{RDEC} + P_{RPEW} + P_{RDLS} + P_{RDRS} + P_{RCE} \quad [kW] \tag{75}$$

Zahtijevana električna snaga brodskih pomoćnih sustava određena je prema sličnom brodu i sastoji se od:

$$P_{R5} = P_{RANC} + P_{RPT} + P_{RDRA} + P_{RAMBAL} + P_{RSEW} + P_{RWAS} \quad [kW] \tag{76}$$

Zahtijevana električna snaga potrebna za funkcioniranje pojedinih brodskih prostora određena je prema sličnom brodu :

$$P_{R6} = P_{ROFR} + P_{RKITC} + P_{RAMB} + P_{RWS} + P_{RFC} \quad [kW] \tag{77}$$

Zahtijevana električna snaga naoružanja te zapovjedno informacijskog i komunikacijskog sustava na brodu je:

$$P_{PRPC4IA} = P_{RPROP} + P_{RRCS} + P_{RBGUN} + P_{RASM} + P_{RLT} + P_{RAAS} + P_{RC4I} + P_{RDGS} \quad [kW] \tag{78}$$

Zahtijevane električne snage pojedinih dolje navedenih brodskih sustava se računa po izrazima koji su preuzeti iz [9].

$$P_{RAPROP} = 0.00323 P_{MCR} \quad [kW] \tag{79}$$

$$P_{RSTS} = 0.08891 L_{WL}\ T \quad [kW] \tag{80}$$

$$P_{REES} = 0.007522\ \ V_{TOT} \quad [kW] \tag{81}$$

$$P_{RNBC} = 0.004767 V_{TOT} \quad [kW] \tag{82}$$

$$P_{RHW} = 0.235\ N_{CR} \quad [kW] \tag{83}$$

$$P_{RFFS} = 0.003425 V_{TOT} \quad [kW] \tag{84}$$

$$P_{RFH} = 0.00625\ V_{HT} \quad [kW] \tag{85}$$

$$P_{RSER} = 0.395\ N_{CR} \quad [kW] \tag{86}$$

$$P_{RHSS} = 0.0226 (V_{TOT} - V_{MB}) \quad [kW] \tag{87}$$

$$P_{RVEN} = 0.103\,(P_{RHSS} + P_{RPC4IA}) + P_{RNBC} \quad [kW] \tag{88}$$

$$P_{RACS} = 0.67\,(0.1\,B_P + 0.02366\,(V_{TOT} - V_{MB}) + 0.1\,P_{RPC4IA} \quad [kW] \tag{89}$$

Sumiranjem snaga svih potrošača dolazi se do ukupne potrebne električne snage na brodu P_{RTOT} a njenim množenjem s marginom projekta i marginom budućeg povećanja snage zbog moguće ugradnje dodatnih trošila dobiva se izraz za konačnu potrebnu instaliranu snagu na brodu:

$$P_{ITOT} = E_{DMF} \cdot E_{FMF} \cdot P_{RTOT} \quad [kW] \tag{90}$$

Potrebna snaga po jednom diesel agregatu:

$$P_{RDG} = P_{ITOT} / ((N_{DG} - 1)\,0.9) \quad [kW] \tag{91}$$

gdje je N_{DG} broj instaliranih diesel agregata na brodu, a koeficijent 0.9 povećanje snage zbog mogućih fluktuacija napona.

3.5.6 Volumen tankova

Ukupni volumen tankova ratnog broda sastoji se od volumena tankova goriva za propulziju, tankova goriva za potrebe proizvodnje električne energije na brodu, tankova pitke vode, tanka otpadnih voda (crne i sive vode), tankova ulja za podmazivanje pogonskih i pomoćnih strojeva, tankova otpadnog ulja, te tankova balasta. Izraz za ukupni volumen tankova je:

$$V_{TK} = V_F + V_{LO} + V_W + V_{SEW} + V_{WASTE} + V_{BAL} \quad [m^3] \tag{92}$$

Proračun mase goriva propulzije odnosi se na potrošnju goriva diesel motora pri ophodnoj ekonomičnoj brzini broda, budući je pogon za ophodnu brzinu broda u svih 11 predviđenih opcija diesel motor. Masa goriva ovisi o doplovu broda što je zadana vrijednost koja se varira u projektnom modelu u tri vrijednost 1000, 1250 i 1500 nautičkih milja, ophodnoj brzini i specifičnoj potrošnji goriva koja je određena iz kataloga proizvođača. Izraz za proračun mase goriva preuzet je iz [9]:

$$W_{BP} = (EN / U_E)\,P_{EBAVG} \cdot F_{RAVG}\,10^{-6} \quad [t] \tag{93}$$

$$P_{EBAVG} = 1.1\,P_{SH} / \eta \quad [kW] \tag{94}$$

gdje je 1.1 koeficijent povećanja snage zbog obraštanja i valova.

$$F_{RAVG} = 1.05\,f1 \cdot SFC_{EPE} \quad [t / kWh] \tag{95}$$

Volumen tankova goriva propulzije:

$$V_{FP} = 1.02 \cdot 1.05\,\gamma_F \cdot W_{FE} \quad [m^3] \tag{96}$$

1.05 - koeficijent povećanja volumena jer u tankovima uvijek ostane oko 5% goriva,

1.02 - koeficijent ekspanzije goriva zbog promjena temperature okoline.

Masa goriva potrebna za proizvodnju električne energije na brodu dobivena je primjenom izraza iz [30] gdje se primjenjuje princip satne potrošnje goriva:

$$S_P = P_{MCR} \cdot f \cdot n \cdot q \quad [t/h] \tag{97}$$

Faktor snage ovisan je o režimu plovidbe broda i autonomnosti broda koja se varira u projektnom modelu (7, 10 i 15 dana). Za potrebe projektnog modela predviđena su tri režima plovidbe: plovidba kod 100% P_{MCR} u trajanju od 15% vremena od ukupnog operativnog vremena, plovidba kod 65% P_{MCR} u trajanju od 35% vremena od ukupnog operativnog vremena, te plovidba kod 40% P_{MCR} u trajanju od 50% vremena od ukupnog operativnog vremena. Navedeni režimi uz manje korekcije su preuzeti iz [29], a dobiveni su temeljem razmatranja potencijalnih scenarija uporabe višenamjenskog ratnog broda. Na temelju procjene da će strojevi raditi 50% od ukupno raspoloživog vremena autonomnosti broda dobijen je faktor snage i specifična potrošnja goriva za niže režime rada. Izraz za specifičnu potrošnju goriva pri parcijalnim snagama stroja iz [30] je:

$$q = q_m(1.11 - 0.655\, f + 0.545\, f^2) \quad [t/kWh] \tag{98}$$

Volumen tankova maziva je određen na temelju sličnog broda i u projektnom modelu ostaje konstantan te iznosi 2.5 t.

Volumen tanka vode za piće dobiven je iz izraza preuzetog iz [9]:

$$V_W = 1.02\, M_{PV} \cdot \gamma_W \quad [m^3] \tag{99}$$

gdje je

$$M_{PV} = 0.15\, N_{CR}\, 1.016 \quad [t] \tag{100}$$

Volumen tanka otpadnih voda iz [9]:

$$V_{SEW} = 0.05674 \cdot N_{CR} \quad [m^3] \tag{101}$$

Volumen tanka otpadnog ulja iz [9]:

$$V_{WASTE} = 0.02\, V_F \quad [m^3] \tag{102}$$

Volumen tanka balasta iz [9]:

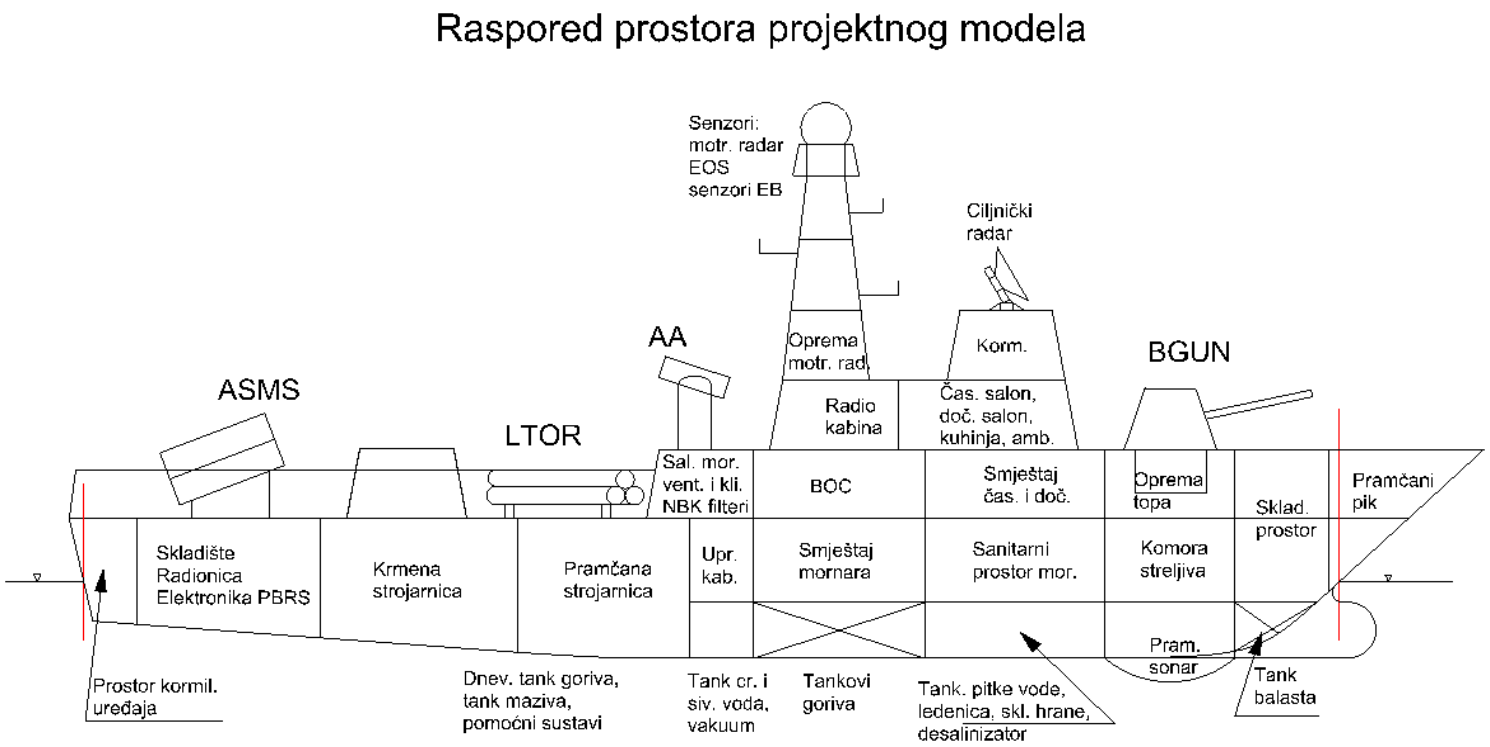
$$V_{BAL} = 0.075\, V_F \quad [m^3] \tag{103}$$

3.5.7 Raspored prostora ratnog broda

Skica rasporeda prostora projektnog modela prikazuje Slika 18. Ova skica služi za potrebe definiranja brodskog prostora, te smještaja naoružanja i opreme. Ona je omogućila određivanje vertikalnog položaja težišta naoružanja i opreme koji se koristio u proračunu centracije i određivanja vertikalnog položaja težišta masa projektnog modela. Svi položaji težišta pojedinih masa su vezani za neki od izmjera brodske forme kao što je visina, gaz, visina između paluba i slično. Detalji o centraciji i određivanju vertikalnog položaja težišta projektnog modela su u podpoglavlju 3.5.8. Krenuvši od pramca projektni model se sastoji od sljedećih prostora:

- pramčani pik,
- skladišni prostor,
- tank balasta,
- pramčani top s opremom i komorom streljiva,
- pramčani sonar,
- kormilarnica, prostor za smještaj i život posade,
- prostor opreme radarskih sustava i elektroničke opreme,
- radio kabina,
- borbeni operativni centar,
- prostor smještaja protuzrakoplovnog i proturaketnog sustava,
- prostor za smještaj opreme za ventilaciju, klimatizaciju i nuklearno-biološko-kemijsku filtroventilaciju,
- upravljačka kabina,
- prostor tankova goriva, maziva, pitke vode, tankova crnih i sivih voda, desalinizatora i skladište hrane,
- prostor za smještaj torpednog naoružanja,
- prostor za smještaj protubrodskog raketnog sustava,
- pramčana strojarnica,
- krmena strojarnica s opremom pomoćnih brodskih sustava,
- prostor krmenog skladišta, radionica, oprema PRBS,
- krmeni prostor za smještaj kormilarskog uređaja.

Vertikalne pregrade kako je prikazano na skici nisu konačne, a poprečno pregrađivanje je u domeni predprojekta i glavnog projekta, te se ovaj rad ne bavi navedenim problemom.



Slika 18. Raspored prostora projektnog modela

3.5.8 Mase i centracija

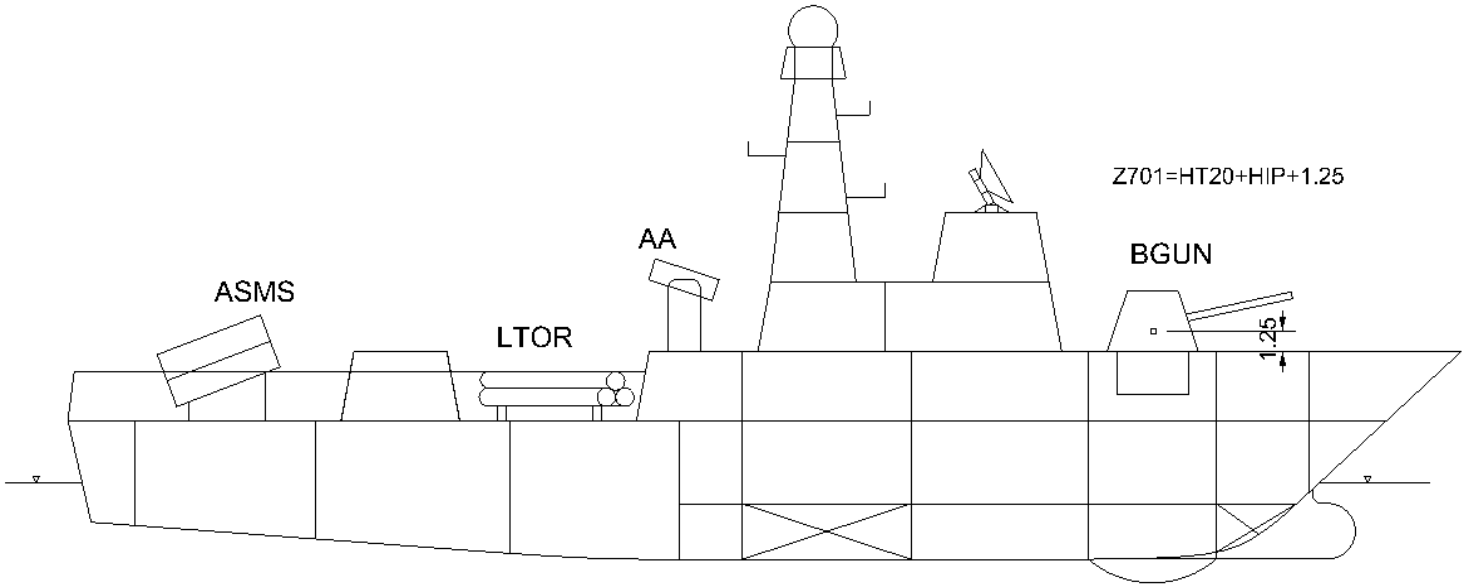
Kod razmatranja masa i proračuna centracije u projektnom modelu mase broda su podijeljene u skupine sukladno podjeli koju je razvila mornarica Sjedinjenih Američkih Država „Expanded Ship Work Breakdown Structure“ (ESWBS). Prema navedenoj podjeli mase broda su svrstane u slijedeće glavne skupine:

1 Konstrukcija trupa i nadgrađa,
2 Pogonsko brodsko postrojenje,
3 Električno brodsko postrojenje,
4 Zapovjedno informacijska i komunikacijska oprema,
5 Brodski pomoćni sustavi,
6 Brodska oprema i namještaj,
7 Naoružanje,
8 Margine brodskih masa,
9 Promjenjive mase (posada, gorivo, voda, hrana).

Detaljnija podjela glavnih skupina na podskupine, te podskupina na daljnje stavke prikazana je u [33]. Za potrebe razvoja projektnog modela korištena su tri pristupa kod određivanja masa i centracije broda što je prikazano u 3.5.8.1, 3.5.8.2 i 3.5.8.3. U projektnom modelu određuje se samo vertikalni položaj težišta broda koji se primjenjuje u izrazu za izračun metacentarske visine, dok se uzdužni položaj težišta broda ne razmatra, već se pretpostavlja da je brod uravnotežen u uzdužnoj ravnini tj. da se položaj težišta nalazi iznad težišta uzgona broda. U podpoglavljima koja slijede svi izrazi za mase su u tonama a vertikalni položaj težišta masa u metrima.

3.5.8.1 Mase i vertikalni položaj težišta masa skupina 2,4 i 7

Prvi pristup se odnosi na naoružanje i opremu čiji podaci o masama i vertikalnom položaju težišta su preuzeti iz kataloga proizvođača. To se prvenstveno odnosi na skupinu 2 – pogonski sustav, 4 – zapovjedno informacijska i komunikacijska oprema i 7 – naoružanje. Za tu potrebu je u projektnom modelu formirana posebna baza podataka gdje se nalaze podaci o masama, vertikalnom položaju težišta, te podaci o zahtijevanim površinama i električnoj snazi. Na Slici 19. prikazan je primjer određivanja vertikalnog položaja težišta pramčanog topa, a na sličan način definirani su vertikalni položaj težišta svih masa iz skupina 2, 4 i 7.



Slika 19. Određivanje vertikalnog položaja težišta pramčanog topa

Mase propulzora (FPP i CPP) su određene po izrazima iz [34]:

$$W_{206} = 0.004(\frac{A_E}{A_0})D_P^3 \quad [t] \tag{104}$$

$$W_{205} = 0.008(\frac{A_E}{A_0})D_P^3 \quad [t] \tag{105}$$

Mase vodomlaznog propulzora su preuzete iz kataloga proizvođača, a pored mase propulzora uzima se u obzir i masa vode koja se nalazi u propulzoru tijekom njegovog rada. Masa osovinskih vodova je dobivena proračunom geometrijskih karakteristika osovinskih vodova, dok je masa ležajeva uzeta prema sličnom brodu. Promjer osovinskih vodova izračunat je po izrazu iz [35]:

$$d_p = 100\,k\,\sqrt[3]{\frac{P_{MCR}}{N_{PROP}}(\frac{560}{\sigma_u + 160})} \quad [mm] \tag{106}$$

Masa osovinskih vodova je izračunata na temelju površine poprečnog presjeka, duljine koja je pretpostavljena, te specifične gustoće materijala. Za osovinske vodove s FPP i CPP propulzorima pretpostavljena duljina osovinskog voda je $L_{WL}/4$, dok je za osovinske vodove s vodomlaznim propulzorima je $L_{WL}/10$. Ovaj pristup proračuna masa je vrlo pouzdan i doprinosi točnosti kod izračuna vertikalnog položaja težišta broda.

Vertikalni položaj težišta glavnih i pomoćnih strojeva s reduktorima:

$$Z_{210} = 2\,Z_{GIR} + Z_{207} \quad [m] \tag{107}$$

Vertikalni položaj težišta FPP i CPP propulzora:

$$Z_{203} = -0.15\,T \quad [m] \tag{108}$$

Vertikalni položaj težišta vodomlaznih propulzora:

$$Z_{203} = T \quad [m] \tag{109}$$

Vertikalni položaj težišta osovinskih vodova FPP i CPP propulzora :

$$Z_{201} = (1/4)T \quad [m] \tag{110}$$

Vertikalni položaj težišta osovinskih vodova vodomlaznih propulzora :

$$Z_{201} = (2/3)T \quad [m] \tag{111}$$

Vertikalni položaj težišta ostalih dijelova pogonskog sustava (ležajevi, brtvenice):

$$Z_{204} = 2.05 \quad [m] \tag{112}$$

Vertikalni položaj težišta pomoćnog propulzora:

$$Z_{202} = 0.3\,T \quad [m] \tag{113}$$

Vertikalni položaj težišta pogonskog sustava broda:

$$Z_2 = W_{210} \cdot Z_{210} + W_{203} \cdot Z_{203} + W_{201} \cdot Z_{201} + W_{204} \cdot Z_{204} + W_{202} \cdot Z_{202} \quad [m] \qquad (114)$$

Vertikalni položaj težišta masa zapovjedno informacijskog i komunikacijskog sustava:

$$Z_{402} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 5.0 \text{ [m]} \qquad (115)$$

$$Z_{414} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 0.45 \text{ [m]} \qquad (116)$$

$$Z_{413} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 0.4 \text{ [m]} \qquad (117)$$

$$Z_{408} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 7.5 \text{ [m]} \qquad (118)$$

$$Z_{410} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 1.15 \text{ [m]} \qquad (119)$$

$$Z_{401} = H_{T10} + 3\,H_{IP} + 0.25 \text{ [m]} \qquad (120)$$

$$Z_{409} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 0.35 \text{ [m]} \qquad (121)$$

$$Z_{403} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 5.75 \text{ [m]} \qquad (122)$$

$$Z_{418} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 0.4 \text{ [m]} \qquad (123)$$

$$Z_{417} = H_{T10} + 0.45 \text{ [m]} \qquad (124)$$

$$Z_{415} = -0.75 \text{ [m]} \qquad (125)$$

$$Z_{411} = 2.1 \text{ [m]} \qquad (126)$$

$$Z_{416} = H_{T10} + 0.4 \text{ [m]} \qquad (127)$$

$$Z_{407} = H_{T10} + H_{IP} + 0.35 \text{ [m]} \qquad (128)$$

$$Z_{412} = H_{T10} + 0.4 \text{ [m]} \qquad (129)$$

$$Z_{404} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 4.0 \text{ [m]} \qquad (130)$$

$$Z_{405} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 4.0 \text{ [m]} \qquad (131)$$

$$Z_{406} = H_{T10} + H_{IP} + 1.2 \text{ [m]} \qquad (132)$$

$$Z_{419} = 1.15\,H_{T10} \text{ [m]} \qquad (133)$$

$$Z_4 = (W_{402} \cdot Z_{402} + W_{414} \cdot Z_{414} + W_{413} \cdot Z_{413} + W_{408} \cdot Z_{408} + W_{410} \cdot Z_{410} + W_{401} \cdot Z_{401} + W_{409} \cdot Z_{409} + W_{403} \cdot Z_{403} + W_{418} \cdot Z_{418} + W_{417} \cdot Z_{417} + W_{415} \cdot Z_{415} + W_{411} \cdot Z_{411} + W_{416} \cdot Z_{416} + W_{407} \cdot Z_{407} + W_{412} \cdot Z_{412} + W_{404} \cdot Z_{404} + W_{405} \cdot Z_{405} + W_{406} \cdot Z_{406} + W_{419} \cdot Z_{419}) / W_4 \text{ [m]} \qquad (134)$$

Vertikalni položaji težišta masa skupine 7:

$$Z_{709}(0) = H_{T10} + H_{IP} + 1.2 \text{ [m]} \qquad (135)$$

$$Z_{709}(1) = H_{T10} + H_{IP} + 1.25 \text{ [m]} \qquad (136)$$

$$Z_{709}(2) = H_{T10} + H_{IP} + 0.25 \text{ [m]} \qquad (137)$$

$$Z_{706} = H_{T10} + 0.8 \text{ [m]} \qquad (138)$$

$$Z_{708}(0) = H_{T10} + 1.325 \text{ [m]} \qquad (139)$$

$$Z_{708}(1) = H_{T10} + 1.82 \text{ [m]} \qquad (140)$$

$$Z_{708}\,(2) = H_{T10} + 1.82 \text{ [m]} \tag{141}$$

$$Z_{705} = H_{T10}/\,2 + 1.25 \text{ [m]} \tag{142}$$

$$Z_{711}\,(0) = H_{T10} + 0.4 \text{ [m]} \tag{143}$$

$$Z_{711}\,(1) = H_{T10} + 0.6 \text{ [m]} \tag{144}$$

$$Z_{711}\,(2) = H_{T10} + 0.65 \text{ [m]} \tag{145}$$

$$Z_{710}\,(0) = H_{T10} + H_{IP} + 1.1 \text{ [m]} \tag{146}$$

$$Z_{710}\,(1) = H_{T10} + 4.15 \text{ [m]} \tag{147}$$

$$Z_{702}\,(0) = 0.0 \text{ [m]} \tag{148}$$

$$Z_{702}\,(1) = H_{T10} + 0.9 \text{ [m]} \tag{149}$$

$$Z_7 = (W_{709} \cdot Z_{709} + W_{706} \cdot Z_{706} + W_{708} \cdot Z_{708} + W_{705} \cdot Z_{705} + W_{711} \cdot Z_{711} + W_{710} \cdot Z_{710} + W_{702} \cdot Z_{702}) / W_7 \quad \text{[m]} \tag{150}$$

3.5.8.2 Masa i vertikalni položaji težišta masa skupine 1

Drugi pristup primijenjen je kod izračuna mase i vertikalnog položaja težišta trupa broda. Sukladno [36] na masu konstrukcije trupa i nadgrađa otpada oko jedne trećine od ukupne mase broda iz čega proizlazi vrlo velika važnost njenog preciznog određivanja. Inicijalno intencija je bila odrediti masu i vertikalni položaj težišta mase trupa i nadgrađa regresijskom analizom masa niza korveta koja je dana u [4]. Provjerom navedenih podataka utvrđeno je da oni ne daju pouzdane rezultate, te se pristupilo drugom preciznijem i pouzdanijem načinu određivanja mase i vertikalnog položaja težišta. Primjenom [35], „Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft“ od Lloyd Registra u projektnom modelu vrši se proračun konstrukcijskih elemenata broda čija geometrija poprečnog presjeka se primijenila za izračun mase konstrukcijskih elemenata te mase ukupnog trupa broda. Pravila se odnose na civilna brza plovila, a procijenjeno je da se mogu primijeniti i za određivanje konstrukcijskih elemenata ratnog broda na konceptualnoj razini projekta, dok bi se detalji koji se prvenstveno odnose na temeljenje naoružanja i pojedinih uređaja na brodu rješavali tijekom faze detaljnog projektiranja broda. Iako nije uobičajeno za konceptualnu razinu projekta primijeniti ovakav način proračuna masa, on sigurno doprinosi pouzdanosti i točnosti određivanja mase i vertikalnog položaja trupa broda. Pored [35] primijenjeni su iskustveni izrazi za određivanje površina pojedinih dijelova brodskog trupa (npr. pregrade, bok, paluba i sl.) iz [30] jer se masa određivala po jedinice površine te se zatim izračunavala masa za cijelu predmetnu površinu. U 3.8.2.1 i 3.8.2.2 objašnjeni su izrazi iz [35] koji su primijenjeni za proračun opterećenja i dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata trupa broda. Kako je prikazano u

podpoglavlju 1.3 projektni model ima tri opcije za materijal trupa: standardni brodograđevni čelik, čelik povišene čvrstoće i aluminijsku leguru. Materijal nadgrađa je u svim slučajevima aluminijska legura. U Tablici 5. prikazane su mehanička svojstva materijala trupa u projektnom modelu.

Tablica 5. Mehanička svojstva materijala konstrukcijskih elemenata trupa

Naziv	Oznaka	Granica razvlačenja [N/mm^2]	Prekidna čvrstoća [N/mm^2]
Standardni brodograđevni čelik	Grade A	235	420
Čelik povišene čvrstoće	AH32	315	440
Aluminijska legura	5083-H112	125	275

3.5.8.2.1 Opterećenje brodske konstrukcije

Opterećenje na brodsku konstrukciju je rezultanta statičkog, dinamičkog i udarnog opterećenja na pojedinim pozicijama broda. Hidrostatički tlak djeluje na oplatu broda do vodne linije i izražen je kao:

$$P_h = 10\,(T_x - (z - z_k)) \quad \left[kN/m^2\right] \tag{151}$$

Hidrodinamički tlak valova djeluje na oplatu broda do vodne linije i uzima se veći od $P_m \, i \, P_p$:

$$P_m = 10 f_z \cdot H_{rm} \quad \left[kN/m^2\right] \tag{152}$$

$$f_z = k_z + (1 - k_z)(\frac{z - z_k}{T_x}) \quad [-] \tag{153}$$

$$k_z = e^{-u} \qquad [-] \tag{154}$$

$$u = (\frac{2\,\pi \cdot T_x}{L_{WL}}) \qquad [-] \tag{155}$$

$$H_{rm} = C_{w,\min}(1 + \frac{k_r}{(C_B + 0{,}2)}(\frac{X_{wl}}{L_{WL}} - X_m)^2) \quad [m] \tag{156}$$

$k_r = 2.25$ koeficijent forme valnog tlaka za jednotrupne brze brodove ,

$$C_{w,\min} = \frac{C_w}{k_m} \qquad [m] \tag{157}$$

$$k_m = 1 + \frac{k_r (0.5 - X_m)^2}{(C_B + 0.2)} \quad [-] \tag{158}$$

$$X_m = 0.45 - 0.6 F_n \quad [-] \tag{159}$$

$$F_n = \frac{0.5144 U_m}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \quad [-] \tag{160}$$

$$C_w = 0.0771 L_{WL} \, (C_B + 0.2)^{0.3} e^{(-0.0044 L_{WL})} \quad [m] \tag{161}$$

$$U_m = \frac{2}{3} U \quad [m/s] \tag{162}$$

$$P_p = 10 \, H_{pm} \quad [kN/m^2] \tag{163}$$

$$H_{pm} = 1.1 \, (\frac{2 \, X_{wl}}{L_{WL}} - 1) \sqrt{L_{WL}} \quad [-] \tag{164}$$

$$f_L = 0.6 \quad [-] \tag{165}$$

za L_{WL} <= 60 metara,

$$f_L = 1.5 - 0.015 \, L_{WL} \quad [-] \tag{166}$$

za 60 <= L_{WL} <= 80 metara,

$$f_L = 0.3 \quad [-] \tag{167}$$

za L_{WL} >= 150 metara.

Ograničenje valne visine iznad projektnog gaza je:

$$H_w = 2 \, H_{rm} \, [m] \tag{168}$$

Tlak koji djeluje na izložene palube i međupalube broda je:

$$P_{wl} = f_L (5 + 0.01 \, L_{WL})(1 + 0.5 \, a_V) + E \quad [kN/m^2] \tag{169}$$

a_V - vertikalno ubrzanje težišta broda, ne smije biti manje od 1 i veće od 4 za izložene palube, te ne smije biti veće od 1 za međupalube, objašnjeno u podpoglavlju 3.11.

$$E = \frac{0.7 + 0.08 \, L_{WL}}{H_{T10} - T} \quad [kN/m^2] \tag{170}$$

za izložene palube, ne smije biti veće od 3.

Udarno opterećenje na dno broda:

$$P_{dlb} = \frac{f_d \cdot \Delta \cdot \Phi \, (1 + a_V)}{L_{WL} \cdot G_o} \quad [kN/m^2] \tag{171}$$

- $f_d = 54$ - koeficijent tlaka forme broda za jednotrupce,
- $\Phi = 0.5$ na vodnoj liniji od krmenog kraja L_{WL},

- $\Phi = 1.0$ na 0.75 L_{WL} od krmenog kraja L_{WL},
- $\Phi = 1.0$ na 0.5 L_{WL} od krmenog kraja L_{WL},
- $\Phi = 0.5$ na krmenom kraju L_{WL}.

Vrijednosti između navedenih određuju se interpolacijom.

Udarno opterećenje na bokove broda uslijed udaranja:

$$P_{dsl} = P_{dlb} \frac{tg(40 - \theta_B)}{tg(\theta_S - 40)} \quad \left[kN / m^2\right] \tag{172}$$

θ_B - srednji nagib oplate dna u odnosu na osnovicu u stupnjevima za određeni presjek broda,

θ_S - srednji nagib oplate boka u stupnjevima na određenom presjeku broda,

$(40 - \theta_B)$ ne smije biti manji od 10 stupnjeva,

$(\theta_S - 40)$ ne smije biti manji od 10 stupnjeva.

Tlak uslijed udaranja na pramčani dio broda na vodnoj liniji uslijed relativnog gibanja:

$$P_f = \text{veće od } P_{dls} \text{ ili } f_1 \, L_{WL} (0.8 + 0.15\,\Gamma)^2 \quad \left[kN / m^2\right] \tag{173}$$

$P_f = P_{dls}$ na 0.75 L_{WL} od krmenog kraja L_{WL},

$P_f = P_m$ na 0.5 L_{WL} od krmenog kraja L_{WL},

$P_f = 0.0$ između krmenog kraja L_{WL} i 0.5 L_{WL} od krmenog kraja L_{WL},

$f_1 = 0.94$ koeficijent udarnog tlaka za brzi jednotrupac,

$$\Gamma = \frac{0.5144 \cdot U}{\sqrt{L_{WL}}} \quad \left[(m/s)/\sqrt{m}\right] \tag{174}$$

Tlak na vodonepropusne pregrade:

$$P_{bh} = 7.2\, h_b \quad \left[kN / m^2\right] \tag{175}$$

h_b - visina opterećenja (stupca vode) u [m] i to za oplatu se uzima udaljenost od točke na 1/3 visine oplate od njenog donjeg ruba do visine pregrade na boku, a za ukrepe udaljenost od sredine ukrepe do visine pregrade na boku broda.

Kriteriji koji daju minimalne vrijednost opterećenja za pojedine konstrukcijske elemente dani su u Dijelu 5, Poglavlju 3 „Local Design Criteria for Craft Operating in Non-Displacement Mode“ [35].

3.5.8.2.2 Dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata broda

Izrazi iz Pravila za dimenzioniranje pojedinih konstrukcijskih elemenata broda su:

Oplata trupa i nadgrađa:

$$t_p = 22.5\, s\, \gamma\, \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma\, \sigma_s}}\, 10^{-3} \quad [mm] \tag{176}$$

Primarne i sekundarne ukrepe (moment otpora presjeka) :

$$Z = \Phi_Z \frac{p \cdot s \cdot l_e^2}{f_\sigma \cdot \sigma_s} \quad [cm^3] \tag{177}$$

Širina i debljina oplate kobilice:

$$b_k = 7.0\, L_R + 340 \quad [mm] \tag{178}$$

$$t_k = \sqrt{k_s}\, 1.35 \cdot L_R^{0.45} \quad [mm] \tag{179}$$

$$k_s = 235 / \sigma_s \tag{180}$$

Površina poprečnog presjeka i debljina kobilice ne smiju biti manji od:

$$A_k = k_s (L_R + 1) \quad [cm^2] \tag{181}$$

$$t_k = \sqrt{k_s}\, (0.5 L_R + 6) \quad [mm] \tag{182}$$

Debljina hrptenice ne smije biti manja od:

$$t_w = \sqrt{k_s}\, (\sqrt{L_R} + 1) \quad [mm] \tag{183}$$

Površina poprečnog presjeka hrptenice ne smije biti manja od:

$$A_f = 0.3\, L_R \cdot k_s \quad [cm^2] \tag{184}$$

Debljina bočnih uzdužnih nosača dna ne smije biti manja od:

$$t_w = \sqrt{(k_s \cdot L_R)} \quad [mm] \tag{185}$$

Visina rebrenica u centralnoj ravnini ne smije biti manja od:

za B <= 10 m

$$d_f = 40\, (B + 0.85\, D) \quad [mm] \tag{186}$$

za B >= 10 m

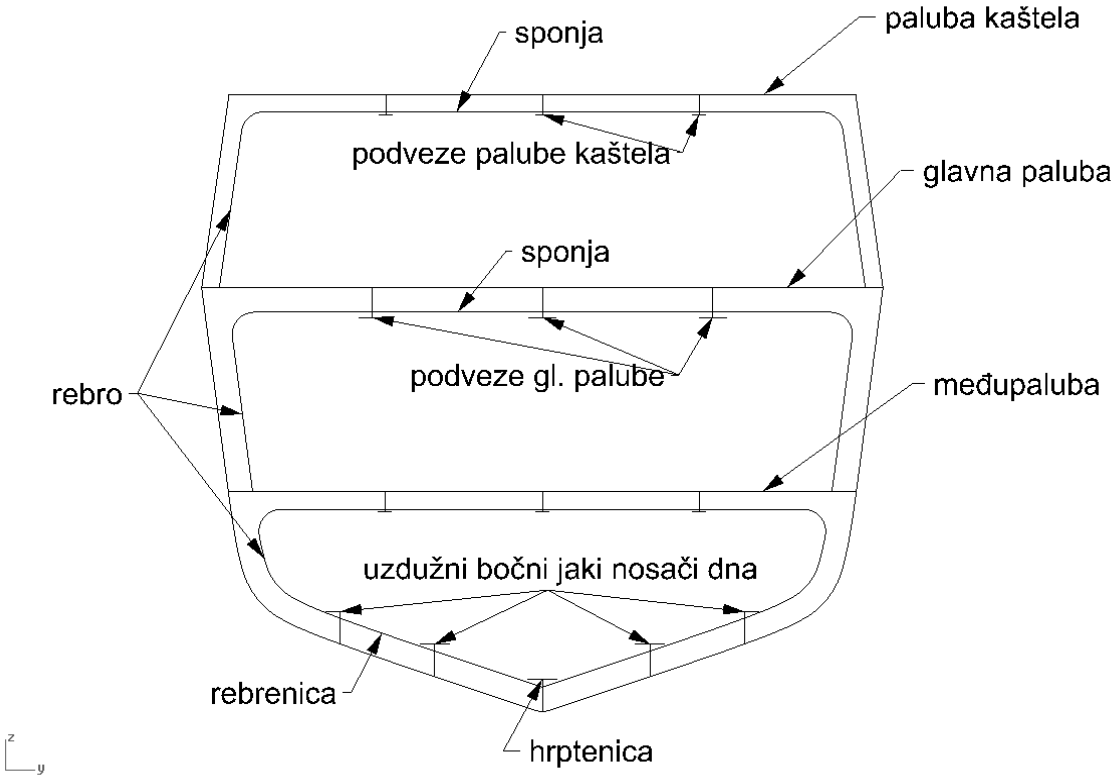
$$d_f = 40\, (1.5\, B + 0.85\, D) - 200 \quad [mm] \tag{187}$$

Debljina oplate rebrenica ne smije biti manja od:

$$t_w = \sqrt{k_s}\, (\frac{3.4\, d_f}{1000} + 2.25)(\frac{s}{1000} + 0.5) \quad [mm] \tag{188}$$

Površina prirubnice rebrenica ne smije biti manja od:

$$A_f = k_s \cdot 0.15\, L_R \quad [cm^2] \tag{189}$$



Slika 20. Glavno rebro s primarnim nosačima

Konstrukcija trupa temelji se na uzdužnom sustavu gradnje na dnu i bokovima broda, dok je paluba osnovana u kombiniranom sustavu zbog lakšeg temeljenja naoružanja i palubne opreme te povećanja krutosti palube zbog tehnoloških otvora iznad strojarnice. Primarni uzdužni nosači dna su hrptenica, uzdužni jaki bočni nosači dna (po dva na svakom boku), dok su primarni poprečni nosači dna okvirne sponje na razmacima od 1200 mm. Sekundarni nosači dna su uzdužnjaci na oplati dna razmaka 300 mm. Primarni nosači boka su okvirna rebra na razmaku od 1200 mm, a sekundarni nosači su uzdužnjaci na oplati boka u razmaku od 300 mm. Na palubi čvrstoće postoje primarni uzdužni jaki nosači (centralni plus po jedan na svakom boku) te poprečne sponje. Na isti način je osnovana paluba i bokovi pramčanog kaštela. Navedeni razmaci su odabrani na temelju sličnog broda te preporuke o razmještaju primarnih i sekundarnih nosača iz [35]. Dimenzije i mase konstrukcijskih elemenata nadgrađa nisu proračunavane već je masa nadgrađa dobivena na temelju volumena nadgrađa te iskustvenog podatku o gustoći nadgrađa po m^3.

3.5.8.2.3 Masa i vertikalni položaja težišta trupa broda

Nakon što se izvrši proračun konstrukcijskih elemenata kako je prikazano u 3.5.8.2.2, temeljem njihovih geometrijskih karakteristika vrši se proračun njihove mase po jedinici

površine a zatim proračun mase za cijelu površinu pojedinih segmenata brodske konstrukcije. Na navedeni način dolazi se do mase pojedinih dijelova brodske konstrukcije te njihovom sumom do ukupne mase trupa broda. Npr. za izračun mase palube, na temelju izračunatih geometrijskih karakteristika uzdužnih jakih nosača, sponja i uzdužnjaka palube te oplate izračunava se njihova masa po jednom metru kvadratnom. Tako dobivena masa se množi s ukupnom površinom palube te se dobiva ukupna masa palube. Na sličan način se dobivaju mase ostalih konstrukcijskih segmenata kao što su dno, bokovi, međupalube. Opći izraz za proračun mase pojedinog brodskog konstrukcijskog segmenta kada je poznata masa po jedinici površine i površina:

$$M_K = q_K \cdot A_K \quad [t] \tag{190}$$

Izrazi za proračun površine i vertikalni položaj težišta pojedinih segmenata broda preuzeti su iz [30] te su prikazani u tekstu koji slijedi.

Površina strukture dna i zrcala do visine gaza od osnovice:

$$A_{dz} = S + (\frac{A_T}{A_M}) B \cdot T \cdot C_M \quad [m^2] \tag{191}$$

Vertikalni položaj težišta strukture dna i zrcala do visine gaza od osnovice:

$$Z_{bot} = \frac{T}{8}(\frac{1}{1+C_M} + \frac{1}{2+\frac{B}{T}})(5 - \frac{A_T}{A_M}) \quad [m] \tag{192}$$

Površina strukture bokova i nadvodnog dijela zrcala:

$$A_b = L_{WL}\,(H_{T10} - T)\left[\sqrt{1+tg^2(\alpha_m)}(\frac{L_{OA}}{L_{WL}}+1) + 4.0(\frac{F_{20}-F_{10}}{H_{T10}-T}-1)\right]\cdot$$
$$(1+0.4\frac{C_{WP}{}^2}{\frac{L_{WL}}{B}}) + (H_{T10}-T)\left[B\frac{1+C_{WP}}{2} + (H_{t10}-T)tg(\alpha_s)\right] \quad [m^2] \tag{193}$$

Vertikalni položaj strukture bokova i nadvodnog dijela zrcala:

$$Z_{ts} = \frac{5T + 3H_{T10} + F_{20} - F_{10}}{8} \quad [m] \tag{194}$$

Površina glavne palube:

$$A_{gp} = L_{WL} \cdot [0.75B_m + 0.125(B_{DT} + B_{FP})] \quad [m^2] \tag{195}$$

Vertikalni položaj težišta glavne palube:

$$Z_{md} = \frac{2\,H_{T10} + 0.02\,B + T + F_{20} - F_{10}}{3} \quad [m] \tag{196}$$

Površina strukture poprečnih pregrada:

$$A_{pp} = n_b(\{B \cdot T \cdot C_B + (H_{T10} - T)[B \cdot C_{WP} + (H_{T10} - T)tg(\alpha_m)]\} \quad [m^2] \qquad (197)$$

$$n_b = \frac{L_{WL}}{3 + L_{WL} \cdot f_{wb}} - 1 \quad [-] \qquad (198)$$

Vertikalni položaj težišta poprečnih pregrada:

$$Z_{bh} = \frac{H_{T10}(C_M + \frac{H_{T10} - T}{T}(1 + \frac{H_{T10} - T}{T} tg(\alpha_s))}{C_M(C_P + 1) + \frac{H_{T10} - T}{T}\left[1 + C_{WP} + \frac{H_{T10} - T}{T}(tg(\alpha_m) + tg(\alpha_s))\right]} \quad [m] \qquad (199)$$

Prema sličnim izrazima izračunata je masa pramčanog kaštela, dok je masa nadgrađa izračunata umnoškom volumena nadgrađa s specifičnom masom nadgrađa po jedinici mase. Vertikalni položaj težišta ostalih dijelova konstrukcije trupa je kako slijedi.

$$Z_{101} = H_{T10} + 2\,H_{IP} + 3.31 \; [m] \qquad (200)$$

$$Z_{102} = H_{T10} + 1.0 \quad [m] \qquad (201)$$

$$Z_{103} = 0.5666\,H_{T10} \quad [m] \qquad (202)$$

$$Z_{104} = H_{T10} + (2/5)H_{IP} \quad [m] \qquad (203)$$

Vertikalni položaj težišta mase konstrukcije broda:

$$Z_1 = (W_{105} \cdot Z_{105} + W_{103} \cdot Z_{103} + W_{101} \cdot Z_{101} + W_{102} \cdot Z_{102} + W_{104} \cdot Z_{104}) / W_1 \quad [m] \qquad (204)$$

3.5.8.3 Masa i vertikalni položaj skupina masa 3, 5, 6 i 9

Određivanje masa i vertikalnog položaja težišta skupina brodskih masa 3, 5, 6 i 9 temelji se na smještaju pojedine opreme kako je prikazano u razmještaju brodskih prostora u podpoglavlju 3.5.7 ili prema sličnom brodu. Izrazi koji definiraju mase ovih brodskih skupina su konstante ili su vezani za pojedine parametre brodske forme kao što je gaz, visina trupa, prosječan razmak između paluba i slično. Proračun pojedinih komponenti navedenih skupina masa (skupina masa 3 i 5) je manje pouzdan od masa skupine 1, 2, 4 i 7 koje su određene na razini pouzdanosti koja je znatno iznad točnosti kada se radi o konceptualnoj fazi projekta broda. S obzirom da se ovdje radi o jednom manjem dijelu masa (15-20%), očekivana greška u modelu će biti manja. Navedene greške se kompenziraju u projektnom modelu na način da se kod izračuna metacentarske visine dodaju margine koje kompenziraju moguće greške u određivanju vertikalnog položaja težišta broda. Izrazi koji definiraju navedene mase prikazani su u tekstu koji slijedi.

Mase brodskih skupina 5:

$$W_{506} = 0.01549\nabla \quad [t] \tag{205}$$

$$W_{501} = 0.005799\nabla \quad [t] \tag{206}$$

$$W_{504} = 0.02518\nabla \quad [t] \tag{207}$$

$$W_{503} = 1.86 \quad [t] \tag{208}$$

$$W_{509} = 2.199 \quad [t] \tag{209}$$

$$W_{505} = 0.017668\nabla \quad [t] \tag{210}$$

$$W_{502} = 0.65 \quad [t] \tag{211}$$

$$W_{507} = 0.25 \quad [t] \tag{212}$$

$$W_{508} = 0.35 \quad [t] \tag{213}$$

Ukupna masa brodskih pomoćnih sustava:

$$W5 = W_{506} + W_{501} + W_{504} + W_{503} + W_{509} + W_{505} + W_{502} + W_{507} + W_{508}\,[\mathrm{t}] \tag{214}$$

Vertikalni položaj težišta masa skupine 5:

$$Z_{506} = 0.58\,H_{T10} \quad [m] \tag{215}$$

$$Z_{501} = 0.782\,H_{T10} \quad [m] \tag{216}$$

$$Z_{504} = 1.066\,H_{T10} \quad [m] \tag{217}$$

$$Z_{503} = 0.58\,H_{T10} \quad [m] \tag{218}$$

$$Z_{509} = 1.088\,H_{T10} \quad [m] \tag{219}$$

$$Z_{505} = 0.364\,H_{T10} \quad [m] \tag{220}$$

$$Z_{502} = H_{T10} + 0.45 \quad [m] \tag{221}$$

$$Z_{507} = 0.45\,H_{T10} \quad [m] \tag{222}$$

$$\begin{aligned} Z_5 = (&W_{506} \cdot Z_{506} + W_{501} \cdot Z_{501} + W_{504} \cdot Z_{504} + W_{503} \cdot Z_{503} + W_{509} \cdot Z_{509} + \\ &W_{505} \cdot Z_{505} + W_{502} \cdot Z_{502} + W_{507} \cdot Z_{507} + W_{508} \cdot Z_{508}) / W_5 \quad [m] \end{aligned} \tag{223}$$

Mase brodskih skupina 3:

$$W_{301} = 0.62 \quad [t] \tag{224}$$

$$W_{304} = 0.011529 \cdot \nabla \quad [t] \tag{225}$$

$$W_{303} = 1.54 \quad [t] \tag{226}$$

$$W_{302} = 0.89 \quad [t] \tag{227}$$

$$W_{305} = 0.01557 \cdot \nabla \quad [t] \tag{228}$$

$$W_{306} = 0.708 \quad [t] \tag{229}$$

$$W_{307} = 0.35 \quad [t] \tag{230}$$

Ukupna masa elektro energetskog sustava je:

$$W3 = W_{301} + W_{304} + W_{303} + W_{302} + W_{305} + W_{306} + W_{307} \quad [t] \tag{231}$$

Vertikalni položaj težišta masa skupine 3:

$$Z_{301} = 0.622\, H_{T10} \quad [m] \tag{232}$$

$$Z_{304} = 0.792\, H_{T10} \quad [m] \tag{233}$$

$$Z_{303} = 1.206\, H_{T10} \quad [m] \tag{234}$$

$$Z_{302} = 0.834\, H_{T10} \quad [m] \tag{235}$$

$$Z_{305} = 0.946\, H_{T10} \quad [m] \tag{236}$$

$$Z_{306} = 0.749\, H_{T10} \quad [m] \tag{237}$$

$$Z_{307} = 0.55\, H_{T10} \quad [m] \tag{238}$$

$$Z_{308} = H_{T10} + H_{IP} + 0.65 \quad [m] \tag{239}$$

$$Z_3 = (W_{301} \cdot Z_{301} + W_{304} \cdot Z_{304} + W_{303} \cdot Z_{303} + W_{302} \cdot Z_{302} + W_{305} \cdot Z_{305} + W_{306} \cdot Z_{306} + W_{307} \cdot Z_{307}) / W_3 \quad [m] \tag{240}$$

Masa brodskih skupina 6:

$$W_{606} = 0.02124 \nabla \quad [t] \tag{241}$$

$$W_{601} = 0.01234 \nabla \quad [t] \tag{242}$$

$$W_{609} = (5.631/374.1) \cdot \nabla \quad [t] \tag{243}$$

$$W_{611} = (2.028/374.1) \cdot \nabla \quad [t] \tag{244}$$

$$W_{608} = 1.663 \quad [t] \tag{245}$$

$$W_{610} = 0.009373 \nabla \quad [t] \tag{246}$$

$$W_{607} = 0.958 \quad [t] \tag{247}$$

$$W_{605} = (4.221/374.1) \cdot \nabla \quad [t] \tag{248}$$

$$W_{603} = 0.911 \quad [t] \tag{249}$$

$$W_{602} = 0.114 \quad [t] \tag{250}$$

$$W_{604} = 0.0399 \nabla \quad [t] \tag{251}$$

$$W_{612} = 0.167 \quad [t] \tag{252}$$

$$W6 = W_{606} + W_{601} + W_{609} + W_{611} + W_{608} + W_{610} + W_{607} + W_{605} + W_{604} + W_{603} + W_{602} + W_{612} \text{ [t]} \quad (253)$$

Vertikalni položaj težišta masa skupine 6:

$$Z_{606} = H_{T10} + H_{IP} + 0.2 \quad [m] \quad (254)$$

$$Z_{601} = 0.748\, H_{T10} \quad [m] \quad (255)$$

$$Z_{609} = H_{T10} + 0.4\, H_{IP} \quad [m] \quad (256)$$

$$Z_{611} = 0.905\, H_{T10} \quad [m] \quad (257)$$

$$Z_{608} = 0.655\, H_{T10} \quad [m] \quad (258)$$

$$Z_{610} = 0.407\, H_{T10} \quad [m] \quad (259)$$

$$Z_{607} = (H_{T10} - H_{IP}) + 1.15 \quad [m] \quad (260)$$

$$Z_{605} = H_{T10} + 0.55 \quad [m] \quad (261)$$

$$Z_{604} = H_{T10} + 0.4 \quad [m] \quad (262)$$

$$Z_{603} = 0.549\, H_{T10} \quad [m] \quad (263)$$

$$Z_{602} = 0.333\, H_{T10} \quad [m] \quad (264)$$

$$Z_{612} = 0.387\, H_{T10} \quad [m] \quad (265)$$

Vertikalni položaj težišta masa skupine 6:

$$Z_6 = (W_{606} \cdot Z_{606} + W_{601} \cdot Z_{601} + W_{609} \cdot Z_{609} + W_{611} \cdot Z_{611} + W_{608} \cdot Z_{608} + W_{610} \cdot Z_{610} + W_{607} \cdot Z_{607} + W_{605} \cdot Z_{605} + W_{604} \cdot Z_{604} + W_{603} \cdot Z_{603} + W_{602} \cdot Z_{602} + W_{612} \cdot Z_{612}) / W_6 \quad [m] \quad (266)$$

Masa brodskih skupina 9:

U ovu skupinu spadaju mase tekućina, mase zaliha hrane, masa streljiva, te masa posade s pripadnom osobnom opremom. Mase streljiva su definirane za svaku opciju naoružanja. One se sumiraju ovisno o opcijama koje su odabrane tijekom generiranja projekta. Masa hrane izračunava se prema izrazu iz [9]:

$$W_{903} = 1.016\, N_{CR} \cdot 0.00245 T_S \quad [t] \quad (267)$$

Masa posade s pripadnom osobnom opremom:

$$W_{907} = N_{CR} \cdot 0.1 \quad [t] \quad (268)$$

Vertikalni položaj težišta tekućina:

$$Z_{902} = 0.211\ H_{T10} \text{ [m]} \quad (269)$$

$$Z_{910} = 0.144\ H_{T10} \text{ [m]} \quad (270)$$

$$Z_{906} = 0.166\, H_{T10} \text{ [m]} \quad (271)$$

$$Z_{905} = 0.144\, H_{T10} \text{ [m]} \quad (272)$$

$$Z_{904} = 0.133\ H_{T10}\ [\mathrm{m}] \tag{273}$$

$$Z_{901} = 0.2\ H_{T10}\ [\mathrm{m}] \tag{274}$$

$$Z_{911} = (W_{902} \cdot Z_{902} + W_{910} \cdot Z_{910} + W_{906} \cdot Z_{906} + W_{905} \cdot Z_{905} + W_{904} \cdot Z_{904} + W_{901} \cdot Z_{901}) / W_{909}\ [\mathrm{m}] \tag{275}$$

Vertikalni položaj težišta masa skupine 9:

$$Z_{907} = 1.25\ H_{T10}\ [\mathrm{m}] \tag{276}$$

$$Z_{903} = 0.45\ H_{T10}\ [\mathrm{m}] \tag{277}$$

$$Z_{913} = H_{T10} + (1/3)\ H_{IP}\ [\mathrm{m}] \tag{278}$$

$$Z_{912}(0) = H_{T10} + 1.53\ [\mathrm{m}] \tag{279}$$

$$Z_{912}(1) = H_{T10} + 2.02\ [\mathrm{m}] \tag{280}$$

$$Z_{912}(2) = H_{T10} + 2.02\ [\mathrm{m}] \tag{281}$$

$$Z_{914}(0) = H_{T10} + 0.5\ [\mathrm{m}] \tag{282}$$

$$Z_{914}(1) = H_{T10} + 0.65\ [\mathrm{m}] \tag{283}$$

$$Z_{914}(2) = H_{T10} + 0.7\ [\mathrm{m}] \tag{284}$$

$$Z_{915}(0) = H_{T10} + H_{IP} + 1.25\ [\mathrm{m}] \tag{285}$$

$$Z_{915}(1) = H_{T10} + H_{IP} + 2.65\ [\mathrm{m}] \tag{286}$$

Vertikalni položaj kompleta streljiva oružnih sustava:

$$Z_{908} = (W_{913} \cdot Z_{913} + W_{912} \cdot Z_{912} + W_{914} \cdot Z_{914} + W_{915} \cdot Z_{915}) / W_{908}\ [\mathrm{m}] \tag{287}$$

Ukupna varijabilna masa:

$$W_9 = W_{907} + W_{903} + W_{909} + W_{908}\ [\mathrm{t}] \tag{288}$$

Vertikalni položaj težišta varijabilnih masa:

$$Z_9 = (W_{907} \cdot Z_{907} + W_{903} \cdot Z_{903} + W_{909} \cdot Z_{909} + W_{908} \cdot Z_{908}) / W_9\ [\mathrm{m}] \tag{289}$$

3.5.8.4 Rekapitulacija masa broda

Masa lakog broda uzimajući u obzir i marginu rasta masa:

$$W_{LS} = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7)(1 + W_{MF})\quad [t] \tag{290}$$

Ukupna masa broda:

$$W_T = W_{LS} + W_{909} + W_{903} + W_{907} + W_{908}\quad [t] \tag{291}$$

3.5.8.5 Rekapitulacija vertikalnog položaja težišta broda

Vertikalni položaj težišta lakog broda:

$$Z_{LS} = (W_1 \cdot Z_1 + W_2 \cdot Z_2 + W_3 \cdot Z_3 + W_4 \cdot Z_4 + W_5 \cdot Z_5 + W_6 \cdot Z_6 + W_7 \cdot Z_7) / (W_{LS} - W_{M24})\ [\mathrm{m}] \tag{292}$$

Vertikalni položaj težišta broda na projektnog vodnoj liniji:

$$K_G = (W_{LS} \cdot Z_{LS} + W_9 \cdot Z_9) / W_T + K_{GMARG} \text{ [m]} \quad (293)$$

Koeficijent K_{GMARG} se dodaje na izračunatu vrijednost vertikalnog položaja težišta broda zbog smanjenja moguće pogreške kod proračuna, a za ovaj tip broda se uzima oko 0.15 m. Na taj način se ide na stranu sigurnosti jer se povećavanjem K_G ustvari smanjuje G_M tj. stabilitet broda.

3.5.9 Zahtijevani volumen / površina trupa i nadgrađa

Površina za smještaj naoružanja i zapovjedno informacijske i komunikacijske opreme u trupu:

$$A_{HPR} = A_{RHSG} + A_{RC4IH} \text{ [m}^2\text{]} \quad (294)$$

Površina za smještaj posade u trupu:

$$A_{HL} = A_{HAB} \cdot N_{CR} \text{ [m}^2\text{]} \quad (295)$$

Površina skladišta u trupu po iskustvenom izrazu iz [9]:

$$A_{HS} = (100 + 0.0158\, N_{CR} \cdot 9\, T_S)\ 0.0929 \text{ [m}^2\text{]} \quad (296)$$

Površina brodskih funkcija u trupu:

$$A_{HSF} = (1750 \cdot 3.2809 \wedge 3\ (L_{WL} \cdot B \cdot H_{PRT} / 100000))\ 0.0929 \text{ [m}^2\text{]} \quad (297)$$

Površina usisa/ispuha kroz palube u trupu:

$$A_{HIE} = 1.4\ N_{HPIE} \cdot Z_{PUI(OPSNS)} \text{ [m}^2\text{]} \quad (298)$$

Površina upravljačke kabine (daljinsko upravljanje, signalizacija rada brodskih sustava):

$$A_{RCR} = 9.5 \text{ [m}^2\text{]} \quad (299)$$

Površina brodske radionice:

$$A_{RWS} = 4.25 \text{ [m}^2\text{]} \quad (300)$$

Površina komunikacijskih hodnika u trupu broda:

$$A_{RHH} = (3 / 5)\ L_{WL}\ 0.7 \text{ [m}^2\text{]} \quad (301)$$

Površina opreme borbene otpornosti broda:

$$A_{SDC} = 6.5 \text{ [m}^2\text{]} \quad (302)$$

Površina izolacije, oblaganja i lakog pregrađivanja:

$$A_{RIH} = 0.3375\, B \cdot + 0.0625\, L_{WL} \text{ [m}^2\text{]} \quad (303)$$

Površina krmene palubne kućice:

$$A_{RAAR} = 4.75 \text{ [m}^2\text{]} \quad (304)$$

Površina protupožarne opreme u trupu:

$$A_{RFFE} = 4.25 \text{ [m}^2\text{]} \quad (305)$$

Zahtjevana površina sustava smanjenja magnetske zamjetivosti:

$$A_{RMSG} = 3.75 \quad [m^2] \tag{306}$$

Površina mornarskog salona u trupu:

$$A_{RSRO} = 10.5 \quad [m^2] \tag{307}$$

Površina sanitarnih prostora u trupu:

$$A_{RTH} = 15.45 \quad [m^2] \tag{308}$$

Zahtjevana površina NBC sustava:

$$A_{RHSG} = 7.5 \; [m^2] \tag{309}$$

Zahtjevana površina vezana za hidroakustičku zamjetivost:

za opcije pogona broda s vodomlaznim propulzorima (opcije 2 i 5):

$$A_{RHSG} = N_{PROP}(OPSNS) \;\; 7.5 \quad [m^2] \tag{310}$$

Opcija 7 pogona broda:

$$A_{RHSG} = N_{PROP}(OPSNS) \;\; 4.375 \quad [m^2] \tag{311}$$

Ukupna zahtjevana površina palube u trupu :

$$A_{HR} = A_{HPR} + A_{HL} + A_{HS} + A_{HSF} + A_{HIE} + A_{RCR} + A_{RWS} + A_{RHH} + A_{RMSG} \;\; (OMAGS) + A_{RNBC}(ONBC) + A_{SDC} + A_{RIH} + A_{RAAR} + A_{RFFE} + A_{RSRO} + A_{RHSG} \quad [m^2] \tag{312}$$

Ukupni zahtjevani volumen u trupu broda:

$$V_{HR} = A_{HR} \cdot H_{IP} \quad [m^3] \tag{313}$$

Ukupna zahtjevana površina / volumen u nadgrađu broda.

Površina za život i rad posade u nadgrađu (časnički salon, dočasnički salon, kuhinja, ambulanta, kabina za goste):

$$A_{DL} = 34.75/N_{CR} \quad [m^2] \tag{314}$$

Površina kormilarnice s navigacijskim stolom :

$$A_{RSR} = 25.7 \quad [m^2] \tag{315}$$

Površina radio kabine :

$$A_{RRR} = 6.5 \quad [m^2] \tag{316}$$

Površina usisa/ispuha:

$$A_{DIE} = 0.0 \quad [m^2] \tag{317}$$

Površina za smještaj opreme motrilačkog i ciljničkog radara:

$$A_{RAAR} = 8.75 \quad [m^2] \tag{318}$$

Površina hodnika u nadgrađu:

$$A_{RHS} = (1 / 5) \;\; L_{WL} \;\; 0.7 \quad [m^2] \tag{319}$$

Površina za smještaj pomoćnog diesel agregata za nuždu:

$$A_{RAG} = 5.55 \ \ [m^2] \tag{320}$$

Površina borbenog kompleta AA sustava:

$$A_{RASA}(0) = 3.5 \ \ [m^2] \tag{321}$$

za opciju 1 AA sustava,

$$A_{RASA}(1) = 7.07 \ \ [m^2] \tag{322}$$

za opciju 2 AA sustava.

Površina sanitarnih prostora u nadgrađu:

$$A_{RTS} = 5.55/N_{CR} \ \ [m^2] \tag{323}$$

Površina izolacije i oblaganja u nadgrađu:

$$A_{RIS} = (4B + (3/4)\, L_{WL})\ \ 0.05 \ \ [m^2] \tag{324}$$

Zahtjevana površina nadgrađa:

$$A_{DR} = A_{DL} + A_{RSR} + A_{DIE} + A_{RRR} + A_{RAAR} + A_{RHS} + A_{RAG} + A_{RASA}(OAAS) + A_{RTS} + A_{RIS} \ \ [m^2] \tag{325}$$

Zahtjevani volumen nadgrađa:

$$V_{RS} = A_{DR} \cdot H_{IP} \ \ [m^3] \tag{326}$$

Ukupna zahtjevana površina / volumen broda:

$$A_{TR} = A_{HR} + A_{DR} \ [m^2] \tag{327}$$

$$V_{TR} = V_{HR} + V_{RS} \ \ [m^3] \tag{328}$$

Ukupna dostupna površina i volumen trupa broda:

$$V_{HA} = V_{HT} - V_{MB} - V_{TK} \ \ [m^3] \tag{329}$$

$$A_{HA} = V_{HA} / H_{IP} \ \ [m^2] \tag{330}$$

Ukupni dostupni volumen broda:

$$V_{TA} = V_{HA} + V_S \ \ [m^3] \tag{331}$$

Dostupna površina nadgrađa:

$$A_{DA} = V_S / H_{IP} \ \ [m^2] \tag{332}$$

Ukupna dostupna površina paluba broda:

$$A_{TA} = A_{HA} + A_{DA} \ [m^2] \tag{333}$$

Dostupna površina otvorene palube:

$$A_{AOD} = C_{RD} \cdot L_{WL}\,(B/2)\ \ 1.9 + A_{RFCD} \ [m^2] \tag{334}$$

Zahtjevana površina otvorene palube:

$$A_{ROD} = A_{RASM}(OASMS) + A_{RLT}(OLTOR) + A_{RAIS}(OAAS) + (3/4)\ A_{DR} + A_{RSG}(OBGNS) + A_{RDEC} + A_{RMA} + A_{RDE} \ \ [m^2] \tag{335}$$

Dostupna duljina izložene palube :

$$X_{ADECK} = 1.03\, L_{WL} \ \ [m] \qquad (336)$$

Zahtjevana duljina otvorene palube:

$$X_{RDECK} = X_{RASM}(OASMS) + X_{RLT}\,(OLTOR) + X_{RAA}\,(OAAS) +$$
$$(3 / 4)\ A_{DR} / (B_D - 2) + X_{RBG}\,(OBGNS) + X_{RMAS} + X_{RAN} \ \ [m] \qquad (337)$$

Zahtjevane površine u trupu i nadgrađu dobivene su iz tlocrtne površine brodskih prostora, naoružanja i opreme iz kataloga opreme ili kao podatak sa sličnog broda. U navedenu površinu je uključena i površina potrebna za funkcioniranje, pristup i održavanje naoružanja/opreme. Pretpostavlja se da sve naoružanje i oprema čiji je smještaj predviđen u nadgrađu može biti instaliran samo u nadgrađu, dok naoružanje i oprema koji su predviđeni u trupu mogu biti instalirani u trupu ali i u nadgrađu. Ova pretpostavka je direktno povezana s algoritmom za uravnoteženje brodskih površina/volumena koji se temelji na izrazu:

$$A_{TR} - A_{TA}\,(V_S) = 0 \ \ [m^2] \qquad (338)$$

U ovoj jednadžbi traži se nul vrijednost tj. volumen nadgrađa koji zadovoljava uravnoteženje brodskih dostupnih i zahtjevanih površina. U slučaju kad je dobiveni volumen nadgrađa veći od zahtjevanog događa se da postoji više volumena u nadgrađu, dok za istu vrijednost manjak volumena u trupu broda. Iz tog razloga je uvedena gornja pretpostavka a njezin osnovni cilj je uravnoteženja dostupnih i zahtjevanih površina/volumena broda. Kako bi projektni model bio prihvatljiv idealno bi bilo da je dobiveni volumen nadgrađa jednak zahtjevanom ali to nije uvijek slučaj, zbog čega dobiveni volumen nadgrađa mora biti u određenim granicama. Za tu potrebu u projektnom modelu u dijelu koji rješava ograničenja projektnog prostora se postavlja uvjet da dobiveni volumen nadgrađa mora biti veći od zahtjevanog i manji od nekog maksimalnog volumena nadgrađa koji se može izračunati temeljem geometrije nadgrađa ili proizvoljno definirati gornju granicu u odnosu na zahtjevani volumen nadgrađa. Matematička metoda za traženje nul vrijednosti koja je primjenjena u projektnom modelu je metoda sekante.

3.5.10 Stabilitet broda

Nakon određivanja ukupne mase i vertikalnog položaja težišta broda u podpoglavlju 3.5.8 relativno lako je odrediti metacentarsku visinu G_M početnog stabiliteta broda koja predstavlja jedan od ograničenja projektnog prostora u projektnom modelu. Za konceptualnu razinu projekta broda dovoljno je izračunati početni stabilitet broda, a očekuje se da će brod zadovoljiti kriterije vezane za polugu stabiliteta kod većih kuteva nagiba. To je dobra

pretpostavka i za ovaj projektni model s obzirom da brod ima pramčani kaštel koji se proteže od sredine broda do kraja pramca i predstavlja veliku rezervu istisnine što je važno za stabilitet kod većih nagiba.

Metacentarska visina je:

$$G_M = K_B + B_M - K_G \text{ [m]} \tag{339}$$

Od više iskustvenih izraza za određivanje vertikalnog položaja istisnine broda odabran je izraz iz [2] koji je bio najbliži K_G sličnog broda :

$$K_B = (T / 3)\ (2.5 - C_P \cdot C_M / C_{WP}) \text{ [m]} \tag{340}$$

Udaljenost od težišta uzgona do početnog metacentra je omjer poprečnog momenta inercije vodne linije i volumena istisnine:

$$B_M = I_{xx} / \nabla \quad [m] \tag{341}$$

Za određivanje poprečnog momenta inercije vodne linije uvodi se koeficijent C_{IT} koji je preuzet iz [2] a predstavlja smanjenje momenta inercije pravokutnika kako bi se dobio moment inercije vodne linije broda:

$$I_{xx} = (L_{WL} \cdot B^3 \cdot f(C_{WP}))/12 = (L_{WL} \cdot B^3 \cdot C_{IT})/12 \quad [m^4] \tag{342}$$

$$B_M = (L_{WL} \cdot B^3 \cdot C_{IT})/(12\nabla) \quad [m] \tag{343}$$

$$C_{IT} = 0.0372\ (2C_{WP} + 1) \wedge 3 \quad [-] \tag{344}$$

Konačni kriterij stabiliteta je bezdimenzionalni koeficijent G_M/B:

$$C_{GMB} = G_M / B \quad [-] \tag{345}$$

U cilju definiranja konačnog kriterija stabiliteta potrebno je odrediti granice C_{GMB} tj. minimalnu i maksimalnu vrijednost što je definirano u podpoglavlju 3.6.5.

Alternativa proračunu početnog stabiliteta je proračun stabiliteta broda kod većih nagiba tj. određivanje krivulje stabiliteta. Za potrebu ovog modela može se primjeniti približna metoda koja se temelji na metodi Barnhart-Tehwlis a koju je originalno predložio Vlasov. Za kriterije stabiliteta mogu se primjeniti zahtjevi koje je razvila mornarica SAD-a ili preuzeti kriterije iz pravila klasifikacijskih društava za ratne brodove. Navedena metoda može se razmatrati kao moguća nadogradnja projektnog modela u području stabiliteta, a ona je detaljno prikazana u [30].

3.5.11 Pomorstvenost

Kako bi projektni model bio vjerodostojan i pouzdan nije se moglo zanemariti određivanje značajki pomorstvenosti broda. Pomorstvenost broda je kompleksno područje brodograđevne

znanosti, a za određivanje pomorstvenih značajki broda primjenjuje se vrpčasta teorija koja za izračun njihanja, brzina i ubrzanja broda primjenjuje dvodimenzionalne hidrodinamičke koeficijente (dodatna masa, prigušenje, uzbudne sile) za čiji izračun je potrebno poznavati brodske linije. Mogu se koristiti i kompleksniji trodimenzionalni modeli kojima se opisuje strujanje oko brodskog trupa, ali ove metode nisu bile prikladne za projetni model iz tri razloga. Prvi je što se u projektnom modelu ne definira forma broda u obliku brodskih linija već samo u obliku parametarskih jednadžbi forme pa je navedene metode nije bilo moguće primjeniti. Drugi razlog je što navedene metode i kad bi bile primjenjive u ovom modelu su kompleksne, zauzimaju puno memorije i vremena računala pa bi praktički bile beskorisne jer se u ovom projektnom modelu u jednom prolazu obrađuje na desetke tisuća projekata. Treći razlog je što vrpčasta teorija ne daje prihvatljive rezultate za brze brodove čiji Froudeov broj je iznad 0.5. Iz navedenih razloga za određivanje pomorstvenosti primjenjen je iskustveni izraz iz [35] kojim se izračunava vertikalno ubrzanje težišta broda, a temelji se na rezultatima ispitivanja pomorstvenosti velikog broja modela i brodova u naravi.

$$a_v = 1.5\,\theta_B \cdot L_1\,(H_1 + 0.084)(5 - 0.1\theta_D)\,\Gamma^2\; x\,10^{-3}\;\; [g] \qquad (346)$$

gdje je

$$L_1 = \frac{L_{WL} \cdot B_C^3}{B_W \cdot \Delta} \qquad [-] \qquad (347)$$

a $\frac{L_{WL}}{B_W}$ ne manji od 3,

θ_D - nagib dna broda na L_{CG} u stupnjevima, ne veći od 30º,

θ_B - dinamički kut trima broda u stupnjevima, ne manji od 3º te

$$\Gamma = \frac{0.5144 \cdot U}{\sqrt{L_{WL}}} \quad \left[(m/s)/\sqrt{m}\right] \qquad (348)$$

Vrijednost B_C je određena u odnosu na B na vodnoj liniji prema sličnom brodu, vrijednost θ_D također prema sličnom brodu i kreće se oko 20º, a θ_B 3º što je očekivana vrijednost za brze brodove. S obzirom na činjenicu da se vrši izračun ubrzanja ona mogu biti relevantna samo ako se promatraju na nekim kritičnim točkama na brodu na kojima boravi posada tijekom operiranja brodom. Za tu svrhu odabrana je kormilarnica broda te su vertikalna ubrzanja težišta broda preračunata u vertikalna ubrzanja u području kormilarnice.

Opći izraz za ubrzanja na nekom presjeku brodskog trupa iz [35]:

$$a_x = a_v(0.86 - 0.32\frac{x_a}{L_{WL}} + 1.76\left(\frac{x_a}{L_{WL}}\right)^2 + \xi_a) \quad [g] \tag{349}$$

$$\xi_a = 0.14 + 0.32\frac{x_{LCG}}{L_{WL}} - 1.76\left(\frac{x_{LCG}}{L_{WL}}\right)^2 \quad [-] \tag{350}$$

Budući je ubrzanje izraženo kao prosjek 1/100 najviših potrebno je pretvoriti ga u RMS („root mean square“) vrijednosti kako bi se moglo uspoređivati s kriterijima pomorstvenosti koji su izraženi na isti način, a za tu potrebu korišten je izraz iz [38]:

$$a_{RMS} = a_x / 2.358 \quad [g] \tag{351}$$

Jedan od bitnih preduvjeta za uspješno projektiranje ratnog broda je određivanje okolišnih uvjeta u kojima će brod operirati. S obzirom na činjenicu da se predmetni projektni model odnosi na akvatorij Jadranskog mora njegovi uvjeti okoliša mogu se opisati sa značajnom valnom visinom, modalnim periodom te vjerojatnošću premašivanja značajne valne visine. Značajna valna visina je zadana dok se modalni period za Jadransko more može odrediti primjenom izraza iz [32] :

$$T_0 = 3.28 \cdot Exp(-0.169 \cdot H_{1/3}) \cdot H_{1/3}^{0.519294} \; [s] \tag{352}$$

Vjerojatnost premašivanja značajne valne visine za jadran može se aproksimirati primjenom izraza iz [32] :

$$f(H_{1/3}) = \frac{103.13}{1 + (\frac{1 + H_{1/3}}{2})^5} \; [\%] \tag{353}$$

Navedene značajke okolišnih uvjeta Jadranskog mora mogu se primjeniti za određivanje pojedinih parametara kao što su vertikalna ubrzanja, MSI („motion sickness indices“) itd.

U cilju dobivanja boljih projekata ratnog broda i ujednačavanja procesa projektiranja NATO je razvio kriterije pomorstvenosti za ratni brod. Navedeni kriteriji se odnose na posadu, na sam brod, oružne sustave i brodske senzore i opremu, a kao etalonski tip broda za njihovo razvijanje uzeta je fregata.

Tipični kriteriji koji se odnose na posadu broda su MSI (motion sickness indices) i MII (motion induced interuption). MSI je indeks koji predstavlja postotak brodske posade koja povraća, a koja je izložena određenom stanju mora u određenom vremenskom periodu. Kriteriji za brodsku posadu prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Kriteriji pomorstvenosti za brodsku posadu

Kriterij	Ograničenje	Lokacija na brodu
MSI	20% posade & 4 h	radno mjesto
MII	1/min	radno mjesto

Kriteriji koji se odnose na trup broda su zalijevanje palube, udaranja te izranjanje propelera. Konkretni kriteriji za jednotrupac prikazani su u Tablici 7.

Tablica 7. Kriteriji pomorstvenosti za trup broda jednotrupca

Kriterij	Ograničenje	Lokacija na brodu
Indeks zalijevanja	30/h	Pramac
Indeks udaranja pramca	20/h	kobilica na pramcu
Izranjanje propelera	80/h	¼ promjera propelera

Posebni kriteri razvijeni su za izvršenje pojedinih specifičnih zadaća na moru kao što je opskrba, opskrba gorivom, polijetanje / slijetanje zrakoplova s palube, podizanje / spuštanje radne brodice na palubu. Kriteriji pomorstvenosti su validni samo za određenu lokaciju na brodu kao što je most, borbeni operativni centar, pojedin radna mjesta itd. Deatljniji kriteriji pomorstvenosti za naoružanje i senzore mogu se vidjeti u [37].

3.6 Ograničenja projektnih parametara

U ovom podpoglavlju su definirana ograničenja u projektnom modelu koja ograničavaju projektni prostor izvodivih projekata kroz ograničenje pojedinih parametara. Uravnotežena projektna rješenja koja se generiraju ne moraju biti i izvediva, dok je izvedivi projektni prostor ograničen nizom varijabli – ograničenja koja se kreću u odgovarajućim rasponima od minimalne do maksimalne vrijednosti, koji mogu biti izraženi u obliku nejednakosti ili u obliku jednakosti kao što je slučaj sa zahtjevanom i dostupnom površinom broda. Ograničenje izraženo u obliku jednakosti se rješavaju kroz algoritam traženja nul vrijednosti, dok se nejednakosna ograničenja provjeravaju nakon generiranja svakog uravnoteženog projekta.

3.6.1 Ograničenje maksimalne održive brzine

Ovo ograničenje je postavljeno na temelju iskustvenih vrijednosti za ovaj tip broda. Njega uglavnom određuje naručitelj broda koji definira minimalnu vrijednost maksimalne održive brzine broda, a također može se postaviti i gornja vrijednost kako se ne bi razmatrali projekti koji zahtjevaju puno veće resurse, a s povećanjem brzine ne postižu se željeni taktički učinci.

S obzirom na činjenicu da je 11 opcija pogonskih strojeva predefinirano u projektnom modelu za svaki generirani projekt se izračunava maksimalna održiva brzina. Za potrebu ovog projektnog modela minimalna vrijednost maksimalne održive brzine je 28 čvorova što je određeno temeljem razmatranja maksimalnih održivih brzina niza sličnih brodova iz baze podataka [4]. Samo ona projektna rješenja čija maksimalna održiva brzina je veća od gore postavljene vrijednosti su izvodiva, dok će sva ostala projektna rješenje biti neizvediva i neće ulaziti u skup preferiranih rješenja koja bi u konačnici mogla biti odabrana kao opcije za nastavak projektiranja ratnog broda u fazi detaljnog projekta. Projektni model je koncipiran na način da se ova vrijednost može podešavati i mjenjati prema potrebi i prema zahtjevima naručitelja broda. Ograničenje maksimalne održive brzine je:

$$U_s \geq 28 \quad čvorova \tag{354}$$

3.6.2 Ograničenje električnog opterećenja

Ograničenje električnog opterećenja u projektnom modelu se temelji na bilanci potrebne električne snage broda koja bi trebala biti manja od snage instaliranih diesel agregata na brodu. Određivanje bilance potrebne električne snage na brodu opisano je u podpoglavlju 3.5.5. Za potrebe ovog projektnog modela na brodu su instalirana tri električna generatora svaki nominalne snage od 208 kW. Dva se mogu koristiti u normalnim uvjetima funkcioniranja broda, dok se treći koristi samo za slučaj izvanrednih uvjeta tj. u slučaju nužde. Zahtjevana električna snaga izražena je izrazom:

$$P_{RDG} = P_{ITOT} / ((N_{DG} - 1)\ 0.9) \quad [kW] \tag{355}$$

0.9 – koeficijent koji uzima u obzir fluktuaciju napona.

Jednadžba ograničenja je:

$$P_{RDG} \leq P_{IDG} \quad [kW] \tag{356}$$

3.6.3 Ograničenje visine trupa broda

Ovo ograničenje sastoji se od tri kriterija. Prvi se odnosi na kriterij visine trupa broda s obzirom na globalnu čvrstoću trupa broda i izražena je u obliku:

$$H_{T10\min} \geq L_{WL} / 14 \quad [m] \tag{357}$$

Ovaj izraz temelji se na iskustvenim podacima iz [4] gdje je dan omjer duljine broda i visine trupa 30 korveta koji se kreće u rasponu od 8 do 16. Iz navedenog proizlazi da brod veličine korvete treba imati omjer visine trupa i duljine u gore navedenim rasponima kako bi

zadovoljio zahtjev za dovoljnom uzdužnom čvrstoćom broda jer se radi o već izvedenim projektima. Odabrana je granična vrijednost omjera L_{WL} / H_{T10} od 14. Nije odabrana maksimalna vrijednost od 16 jer se išlo na stranu sigurnosti, a i zbog činjenice što su očekivane vrijednosti duljine broda od najviše 60 – 65 metara, za koje uzdužna čvrstoća nije kritična.

Drugi kriterij odnosi se na ograničenje visine trupa broda s obzirom na mogućnost smještaja pogonskih strojeva u strojarnicu:

$$H_{T10\min} \geq H_{MB\min} \quad [m] \tag{358}$$

$$H_{MB\min} = Z_{GIR} + H_{ME}(OPSRB) + (1/2)\, H_{IP} \quad [m] \tag{359}$$

$(1/2)H_{IP}$ – visina od gornjeg ruba glavnih strojeva do glavne palube ovisna o opciji pogonskog sustava [m].

Treći kriterij odnosi se na stabilitet broda u oštećenom stanju i zahtjeva da rub glavne palube broda mora biti iznad vode kod nagiba broda od 25º. Iz jednostavne geometrije dolazi se do izraza:

$$H_{T10\min} \geq (B_d / 2) tg(25^o) + T \quad [m] \tag{360}$$

Projekt je izvediv po ovom kriteriju samo ako je visina trupa broda generiranog projekta veća od najveće visine trupa broda po tri gore navedena kriterija, dok je neizvodiv u svim ostalim slučajevima.

3.6.4 Ograničenje zahtijevane površine palube nadgrađa

Kod uravnoteženja projekta s obzirom na površine palube trupa i nadgrađa dobiva se dostupna površina broda, te volumen nadgrađa kao rješenje jednadžbe (338). Taj volumen može biti manji, jednak ili veći od zahtijevanog volumena nadgrađa. Pored zadovoljenja zahtjeva kod kojeg je dostupna površina jednaka zahtijevanoj i volumen nadgrađa bi trebao biti veći od zahtijevanog volumena kako bi se u nadgrađe mogla smjestiti posada i sva potrebna oprema. To se postiže uvođenjem ograničenja u obliku:

$$A_{DA} \geq A_{DR} \; [m^2] \tag{361}$$

Iz ovog uvjeta također slijedi da je volumen nadgrađa veći ili jednak zahtijevanom volumenu budući da su površine i volumeni funkcionalno vezani preko visine između paluba. Kod ovog ograničenja postavljena je i maksimalna vrijednost površine nadgrađa koja iznosi 200 m^2 koja ujedno definira i maksimalnu vrijednost volumena nadgrađa. Maksimalna vrijednost površina nadgrađa određena je u odnosu na očekivane – poznate vrijednosti površine palube koji

variraju ali ne značajno tijekom generiranja projektnih rješenja. Ograničenje površine nadgrađa prema gornjoj vrijednosti je:

$$A_{DA} \leq 200 \left[m^2 \right] \tag{362}$$

3.6.5 Ograničenje početnog stabiliteta

Kao što je naglašeno u 3.5.10 kriterij početnog stabiliteta je omjer metacentarske visine i širine broda. Sukladno [4] ovaj omjer za brod veličine korvete bi se trebao kretati u rasponu od 0.05 do 0.15. Analizom iskustvenog izraza iz [9] za određivanje perioda ljuljanja broda:

$$\frac{G_M}{B} = \frac{c^2 \cdot B}{T^2} \quad [-] \tag{363}$$

uz varijaciju B (od 7 do 9 metara) i T (od 6 do 9 sekundi) u očekivanim vrijednostima za ovaj tip broda, te pretpostavljenom vrijednošću za c od 0.75 $s/m^{0.5}$ do 0.85 $s/m^{0.5}$ došlo do sličnih vrijednosti za minimalnu i maksimalnu vrijednost G_M/B koje su bile u rasponu od 0.045 do 0.16. Analiza je pokazala da se može preuzeti kriterij iz [4] za ograničenje početnog stabiliteta broda. Nejednakost za kriterij početnog stabiliteta je:

$$0.05 \leq G_M / B \leq 0.15 \text{ [-]} \tag{364}$$

3.6.6 Ograničenje vertikalnih ubrzanja

Ovaj kriterij uključuje ograničenje vertikalnih ubrzanja u području kormilarnice broda. Sukladno [37] kriterij za vertikalne akceleracije ratnog broda veličine fregate ne bi smio premašiti 0.2 g. Ovaj kriterij je razvio NATO za brodove veličine fregate, a za potrebe ovog projektnog modela on je ublažen na 0.25 g zbog činjenice da se ovdje radi o osjetno manjem brodu a samim time za očekivati je postizanje nešto većih akceleracija. U civilnim kriterijima taj iznos se kreće u rasponu od 0.25 g do 0.3 g. Nejednakost ograničenja za ovaj kriterij je:

$$a_{RMS} \leq 0.25\, g \quad [g] \tag{365}$$

3.6.7 Ograničenje zahtijevane duljine otvorene palube

Ovaj kriterij odnosi se na usporedbu zahtijevane i dostupne duljine palube projektnog rješenja kako bi se na otvorenu palubu mogla smjestiti sva potrebna oprema i naoružanje broda. Dostupna duljina sastoji se od duljine glavne palube od kraja krme do početka pramčanog kaštela, te duljine pramčanog kaštela. Zahtijevana duljina proizlazi iz sume duljina naoružanja

i opreme koja se smješta na otvorenu palubu, dok se dostupna duljina dobiva iz geometrijskih karakteristika generiranih projekata. Nejednakost za ovaj tip ograničenja je:

$$X_{ADECK} \geq X_{RDECK} \quad [m] \tag{366}$$

3.6.8 Ograničenje zahtijevane površine otvorene palube

Zadovoljenje ograničenja kod kojeg je dostupna površina otvorene palube veća od zahtijevane površine palube omogućuje nesmetan smještaj i instaliranje potrebnog naoružanja i opreme na otvorenoj palubi broda. Zahtijevana površina otvorene palube proizlazi iz tlocrtne površine opreme i naoružanja uključujući i površinu za pristup i održavanje. Dostupna površina proizlazi iz geometrijskih karakteristika generiranog projekta tj. predstavlja površinu glavne palube od kraja krme do početka pramčanog kaštela i površinu pramčanog kaštela. Nejednakost ovog ograničenja je:

$$A_{AOD} \geq A_{ROD} \left[m^2\right] \tag{367}$$

3.7 Atributi u projektnom modelu

U višekriterijskom projektnom modelu ovog rada, u dijelu koji se odnosi na strukturiranje atributa primijenjen je pristup koji je opisan u [10] i [72]. To je jedan pristup projektiranja ratnog broda koji se dominantno temelji na rangiranju projektnih rješenja primjenom mjere za određivanje učinkovitosti ratnog broda ili atributa globalne učinkovitosti (A_{GU}). Vremenska točka u kojoj se pojavljuje navedeni pristup je 1998. godina kada je objavljen članak [72], a nakon toga pristup se do danas konstantno poboljšava i nadograđuje. U sljedećem tekstu ukratko su objašnjene glavne postavke na kojima se temelji taj pristup, navedeni su konkretni primjeri projektnih modela ratnog broda koji koriste navedeni pristup te je opisan način izračuna atributa globalne učinkovitosti u projektnom modelu.

U [72] su navedeni glavni nedostatci pristupa projektiranja ratnog broda prije 1998. god. koji se mogu sažeti kako slijedi:

- Sinteza atributa nije bila adekvatna te oni nisu prezentirani na način učinkovitog donošenja odluka,
- Atributi su često kvalitativni, nekonzistentni i nisu prikladni za inženjersku primjenu,
- Projektni prostor je velik, nelinearan, isprekidan i ograničen velikim brojem ograničenja.

Zbog navedenih problema pretraživanje projektnog prostora je vrlo teško i zahtjevno. Bez strukturiranog pretraživanja projektnog prostora nema racionalnog načina za mjerenje

optimalnosti odabranih rješenja u odnosu na veliki broj konceptualnih rješenja koji nisu uopće razmatrani. U [72] su predloženi elementi koji nedostaju u ovom procesu:

- Kvantitativna metodologija za sintezu skupa najvažnijih, ali istovremeno različitih atributa,
- Učinkovit način pretraživanja projektnog prostora za nedominiranim rješenjima na temelju atributa,
- Praktičan format za prezentiranje nedominiranih konceptualnih rješenja za njihov racionalan odabir.

Prema [72] kritični ili najvažniji atributi su učinkovitost, rizik i cijena. Svaki od njih uključuje određeni broj specifičnih atributa čijom sintezom se dolazi do njihove kumulativne vrijednosti. Učinkovitost ratnog broda, cijena i rizik su potpuno različiti atributi i zahtijevaju različite jedinice mjere te ne mogu biti kombinirani u jedan atribut. Oni moraju biti prezentirani individualno ali simultano i u praktičnom formatu prikladnom za donošenje odluka. Samo ograničen broj atributa može se promatrati simultano što znači razmatranje jednog dijela problema u jednom trenutku ili kombiniranje sličnih atributa u jedan indeks ili globalni atribut.

Atributi u projektnom modelu primijenjeni u ovom radu su: atribut globalne učinkovitosti i atribut cijene životnog ciklusa broda. Atribut globalne učinkovitosti broda sastoji se od utjecaja niza taktičko tehničkih značajki broda kao što je brzina, doplov, naoružanje, autonomnost, mogućnost preživljavanja, a predstavlja ukupnu učinkovitost broda. Atribut globalne učinkovitosti se sastoji od niza specifičnih atributa, a detaljno je prezentiran u podpoglavlju 3.7.1. Atribut cijene sastoji se od cijene gradnje ratnog broda, te dijela cijene koja se odnosi na troškove posade, goriva i maziva, te održavanja broda tijekom njegova životnog ciklusa. Atribut cijene prikazan je u podpoglavlju 3.7.2. Atributi u projektnom modelu predstavljaju funkcije cilja koje se optimiziraju. U ovom konkretnom slučaju potrebno je dobiti projektna rješenja najmanje cijene i najveće učinkovitosti. Projektna rješenja se rangiraju i ocjenjuju na temelju vrijednosti atributa, te se tijekom Pareto rangiranja u konačnici dolazi do Pareto optimalnog fronta tj. nedominiranih projekata što je i cilj ovog rada.

U projektnom modelu atribut cijene životnog ciklusa i atribut globalne učinkovitosti imaju jednaku važnost. Atribut globalne učinkovitosti sastoji se od trinaest specifičnih atributa koje su ponderirane određivanjem njihovih težina primjenom Saatyeve metode usporedbe parova. Na preferiranje pojedinih komponenti presudnu ulogu igraju eksperti, a u ovom slučaju to su zapovjednici ratnih brodova. Konačni izlazni rezultat projektnog modela je dobivanje skupa

Pareto projektnih rješenja koja se prikazuju u 2D obliku tj. preko dva atributa. Takav prikaz je praktičan za donositelje odluke o daljnjem odabiru određenog broja projektnih rješenja s obzirom da prikazuje cijeli Pareto skup u funkciji cijene i A_{GU}. Ovaj rad se zaustavlja na dobivanju Pareto skupa projektnih rješenja i ne bavi se metodologijom odabira projektnih rješenja s Pareto krivulje. Zbog gore navedenih razloga u radu nije razmatrano interatributno ponderiranje. Također u radu nije bilo potrebe za normaliziranjem atributa cijene životnog ciklusa osim kod određivanja relativne udaljenosti između projektnih rješenja u prostoru atributa. Cijena životnog ciklusa je u tom slučaju normalizirana s maksimalnom cijenom u jednoj generaciji projektnih rješenja.

3.7.1 Atribut globalne učinkovitosti ratnog broda

3.7.1.1 Općenito o globalnoj učinkovitosti ratnog broda

Globalna učinkovitost ratnog broda je ključna za odabir preferiranih konceptualnih projekata. Prema [10] izračun atributa učinkovitosti ratnog broda temelji se na mišljenju eksperata kojim se vrši sinteza raznorodnih ulaznih informacija kao što su obrambene smjernice, zahtjevi za pojedine taktičke zadaće i misije, prijetnja, rezultati taktičkih scenarija i iskustvo. U ranoj fazi projektiranja ratnog broda projektanti trebaju radni model kojim će se kvantificirati učinkovitost ratnog broda od strane krajnjeg korisnika i donositelja odluka te koji će povezati učinkovitost sa izvedbom pojedinih brodskih sustava. Sukladno [72] takva kvantitativna procjena učinkovitosti ratnog broda je fundamentalna za provedbu strukturiranog procesa optimizacije ratnog broda. Učinkovitost ratnog broda za ograničeni broj koncepata može se analizirati primjenom kompleksnih modela i simulacijom taktičkih scenarija, ali takvi pristupi nisu prikladni za ocjenjivanje velikog broja koncepata. Alternativa takvom modeliranju i simulacijama je primjena mišljenja eksperata u cilju direktne integracije raznovrsnih ulaznih informacija. Prema [72] navedeni problem se može strukturirati kao višekriterijski problem donošenja odluka („multi-atribute decision problem“). Za rješavanje navedenog problema primijenjen je analitički hijerarhijski proces (AHP – „Analitical Hyerarhical Process“) koji je razvio Saaty tijekom sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Od tada AHP je doživio brojne promjene i poboljšanja. AHP primjenjuje hijerarhijsku strukturu u cilju pojednostavljenja, organizacije i kontroliranja odluka uključujući mnoge specifične atribute te procjenu i mišljenje eksperata u cilju mjerenja relativne vrijednosti ili doprinosa tih specifičnih atributa u procesu sinteze rješenja. AHP omogućuje primjenu kvantitativnih i kvalitativnih atributa.

Hijerarhija predstavlja pojednostavljeni prikaz strukture promatranog sustava i primjenjuje se za analiziranje i određivanje funkcionalnih interakcija između atributa te njihov utjecaj na ukupnu izvedbu sustava. Temelji se na pretpostavci da važni entiteti sustava ili atributi mogu biti grupirani u skupove, gdje entitet jedne grupe ili razine utječe na entitete susjednih grupa ili razina. Alternativna rješenja se uspoređuju na temelju atributa najniže razine, a slična usporedba se provodi za sve razine strukture u cilju procjene izvedbe ukupnog sustava. Navedeni pristup predstavlja novi način projektiranja ratnog broda na konceptualnoj razini.

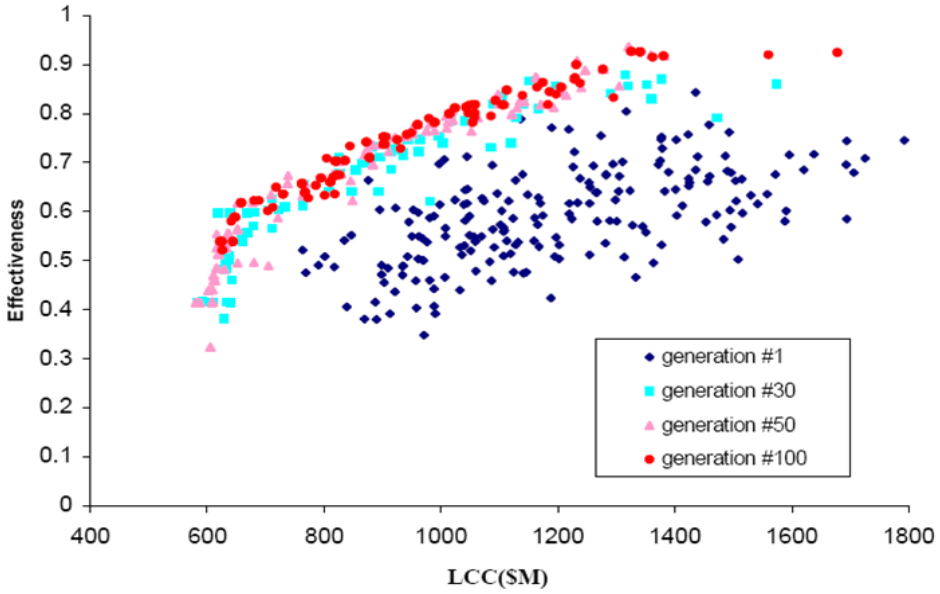
Za određivanje učinkovitosti ratnog broda nisu dovoljne samo brodograđevne značajke broda kao što je brzina, stabilitet i slično, već niz ostalih taktičkih značajki broda kao što su vrsta i količina naoružanja koje brod nosi, te sposobnosti preživljavanja broda u borbenim uvjetima što uključuje reduciranje svih vrsta zamjetivosti ratnog broda. Sve taktičke značajke broda se primjenom prikladne metrike moraju prikazati u obliku učinkovitosti broda. Određivanje globalne učinkovitosti ratnog broda u ovom radu se temelji na primjeni AHP teorije koja je detaljnije prikazana u 3.7.1.3.

U [13] je provedena validacija primjene atributa globalne učinkovitosti te analitičkog hijerarhijskog procesa usporedbom rezultata simulacijskog programa „Harpoon“ i odlukama temeljenim na mišljenju eksperata. „Harpoon“ je program za modeliranje i simulaciju taktičkih pomorskih ratnih scenarija, a u nekim zemljama se koristi kao simulacijski alat za obuku mornaričkog osoblja. Sadrži bazu podataka od preko 400 tipova ratnih brodova iz mnogih zemalja. Ima bazu podataka oružnih sustava, streljiva, propulzijskih sustava i goriva. Uključuje 120 programiranih scenarija od kojih je većina modelirana temeljem stvarnih povijesnih pomorskih bitaka. Ovom usporedbom rangirano je 16 ratnih brodova različitih značajki primjenom izračuna atributa globalne učinkovitosti i programa „Harpoon“. Rezultat je pokazao da nema značajnog odstupanja u rangiranju brodova po oba načina. U [13] je zaključeno da se atribut globalne učinkovitosti s velikom razinom pouzdanosti može primijeniti za rangiranje alternativnih projektnih rješenja tijekom postupka optimizacije ratnog broda na konceptualnoj razini.

3.7.1.2 Primjeri konceptualnih projektnih modela ratnog broda koji primjenjuju A_{GU}

U [72] je prikazan konceptualni projektni model ratnog broda veličine razarača. Primijenjena metoda višekriterijske optimizacije je MOGO („A Multiple-Objective Genetic Optimization“). Projektni model se sastoji od 20 projektnih varijabli, određenog broja parametara i ograničenja te dva atributa: cijene životnog ciklusa i globalne učinkovitosti

ratnog broda. Atribut globalne učinkovitosti sastoji se od 20 specifičnih atributa. Rezultat projektnog modela je skup Pareto preferiranih rješenja koja su prikazana na Slici 21. Generacija je sadržavala 200 projekata a postupak optimizacije je zaustavljen nakon 100 generacija. Na Slici 21. je vidljiv Pareto nedominirani front te projektna rješenja (izvediva i neizvediva) iz više generacija.



Slika 21. Nedominirani Pareto front projekta ratnog broda veličine razarača [72]

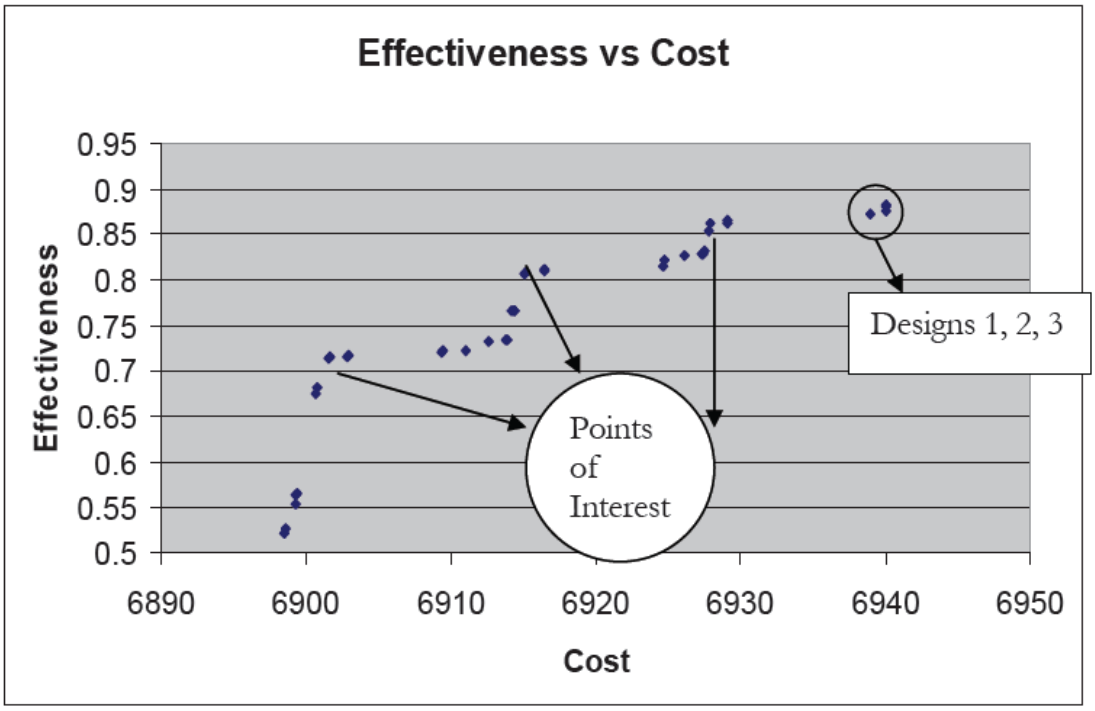
Prijevod pojmova sa slike:

LCC – Life Cycle Cost – cijena životnog ciklusa

Effectiveness – globalna učinkovitost

Generation - generacija

U radu [73] prikazan je konceptualni projektni model amfibijskog napadnog broda. Primijenjen je genetički algoritam za višekriterijsku optimizaciju te analitički hijerarhijski proces za sintezu funkcije globalne učinkovitosti. Cilj projektnog modela je dobivanje projekata maksimalne učinkovitosti i minimalne cijene. Projektni model sadrži 16 projektnih varijabli, određeni broj parametara i ograničenja te dva atributa: cijena gradnje broda i globalna učinkovitost. Atribut globalne učinkovitosti sastoji se od 21 specifičnog atributa. Slika 22 prikazuje Pareto skup preferiranih projektnih rješenja amfibijskog napadnog broda.



Slika 22. Skup Pareto projektnih rješenja amfibijskog napadnog broda [73]

Prijevod pojmova sa slike:

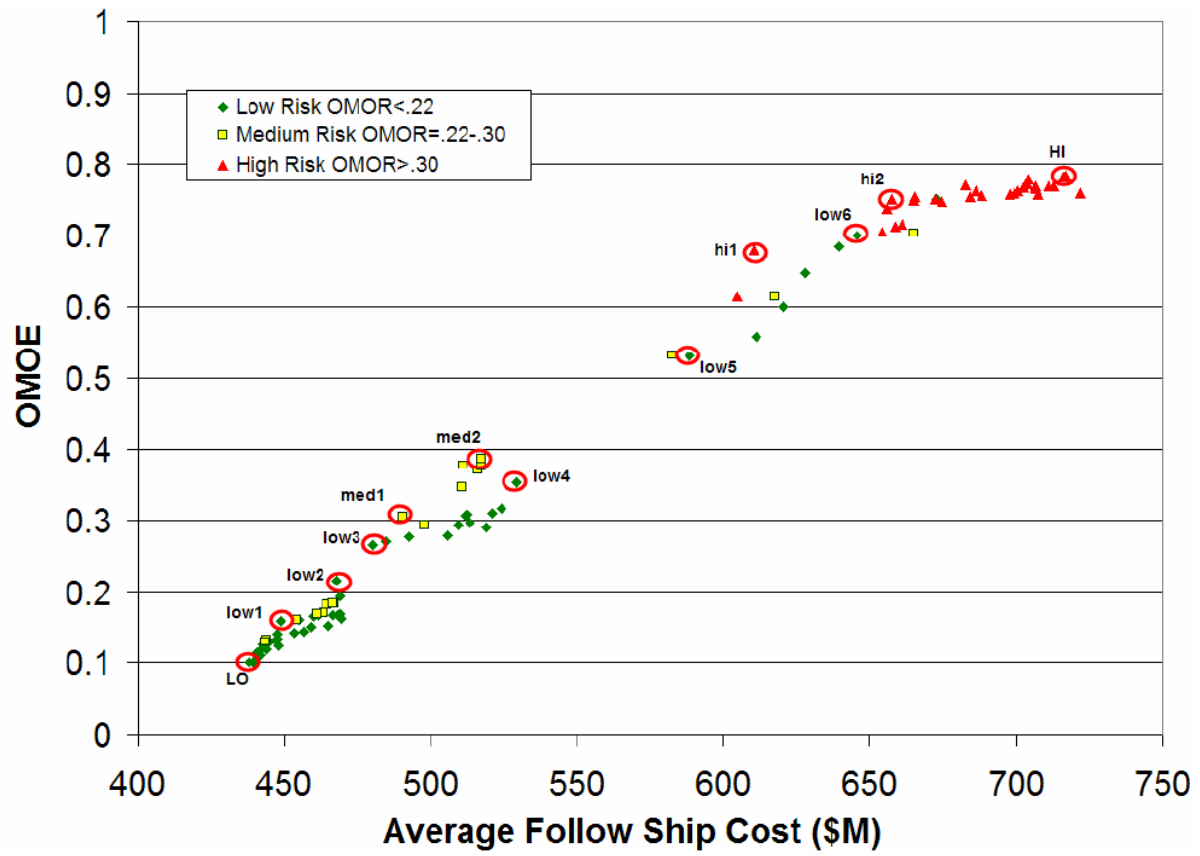
Cost – cijena

Effectiveness – globalna učinkovitost

Points of Interest – projekti od posebnog interesa

Design 1, 2, 3 – projekti 1, 2, 3

U radu [11] je prikazan konceptualni projektni model naprednog logističkog ratnog broda. Primijenjena je MOGO metoda, a atributi su cijena, učinkovitost i rizik. U radu je posebno naglašena važnost funkcije globalne učinkovitosti koja može biti ograničena na zadaće i misije pojedinog broda, proširena na zadaće i misije unutar borbene grupe ili čak šire. Model sadrži 15 projektnih varijabli, određeni broja parametara i ograničenja te tri atributa kako je prethodno navedeno. Slika 23 prikazuje nedominirani Pareto front kao konačni rezultat ovog konceptualnog projekta.



Slika 23. Nedominirani Pareto front temeljen na cijeni, učinkovitosti i riziku [11]

Prijevod pojmova sa slike:

Average Follow Ship Cost – prosječna cijena gradnje broda

OMOE – Owerall Measure Of Effectiveness – globalna učinkovitost

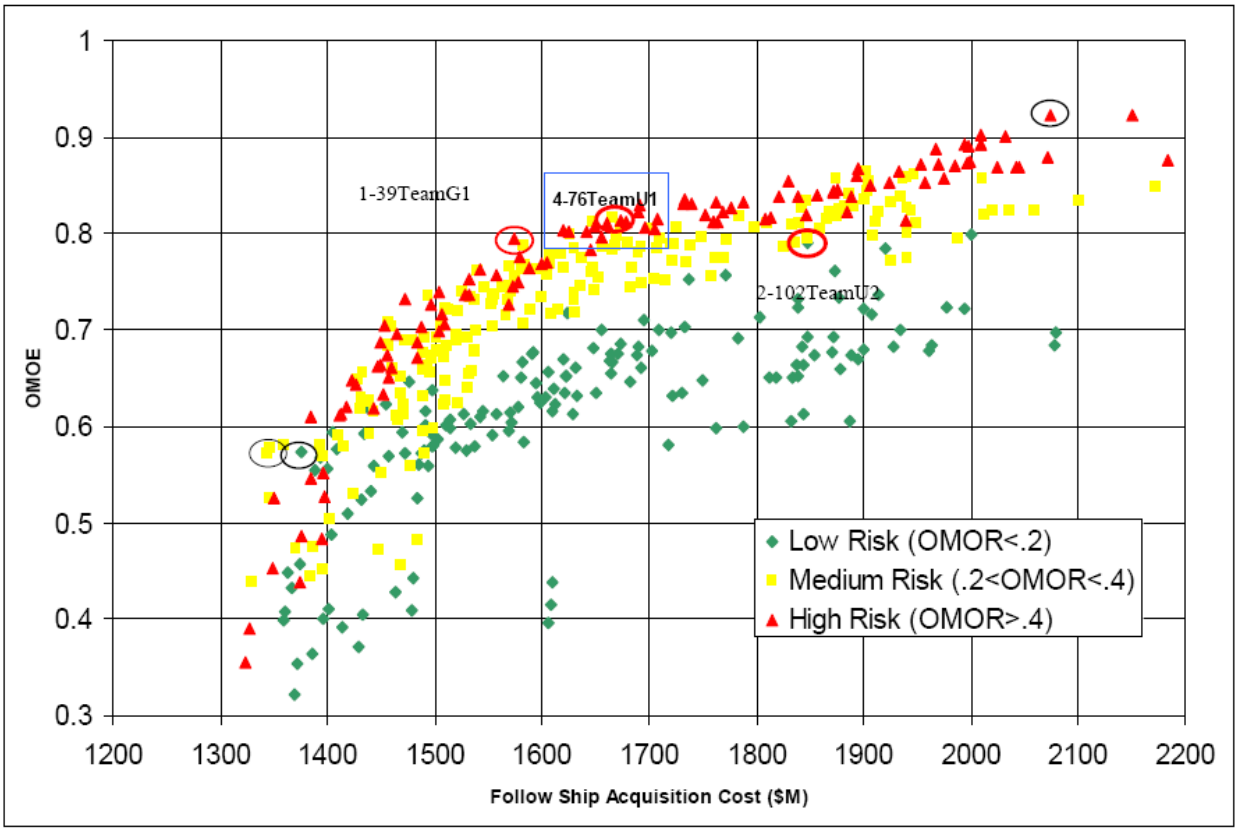
Low Risk – nizak rizik

Medium Risk – srednji rizik

High Risk – visoki rizik

Rad [74] bavi se projektnim modelom brzog ratnog broda za djelovanje u litoralnim vodama. Cilj projektnog modela je razvijanje skupa projektnih rješenja koji će zadovoljiti postavljene taktičko-tehničke zahtjeve koji su vezani za operiranje broda u litoralnim vodama. Za ocjenjivanje konceptualnih projektnih rješenja primijenjen je analitički hijerarhijski proces temeljem kojeg je izračunata učinkovitost broda. U projektnom modelu su analizirani različiti tipovi trupa broda kako bi se odredilo koji od njih je najprikladniji za postavljene zadaće. Na temelju ovakvog konceptualnog projektnog modela izgrađen je litoralni ratni brod za mornaricu Sjedinjenih Američkih Država „USN – Litoral Combat Ship“ , „LCS 2 „Independence“.

U radu [75] opisan je projektni model ratnog broda tipa krstarice („Air Superiority Cruiser“). Za višekriterijsku optimizaciju primijenjena je MOGO metoda, a atributi su cijena, rizik i učinkovitost. U projektnom modelu postoji 16 opcija propulzijskog sustava. U konceptu je posebno razmotrena visoka razina automatizacije u cilju smanjenja cijene životnog ciklusa. Projektni model sadrži 25 projektnih varijabli, određeni broj parametara i ograničenja te atribute kako je navedeno. Atribut učinkovitost se sastoji od 17 specifičnih atributa. Na Slici 24. prikazan je Pareto nedominirani front za različite razine rizika: malim srednji i veliki. Na temelju ovog koncepta mornarica SAD trenutno gradi prvi od tri broda iz klase Zumwalt, razarač „DDG 1000 Zumwalt Class“.



Slika 24 Pareto nedomonirani front projektnog modela krstarice [75]

Prijevod pojmova sa slike:

Follow Ship Acquisition Cost – cijena gradnje broda

OMOE („Owerall Measure of Effectiveness“) – globalna učinkovitost

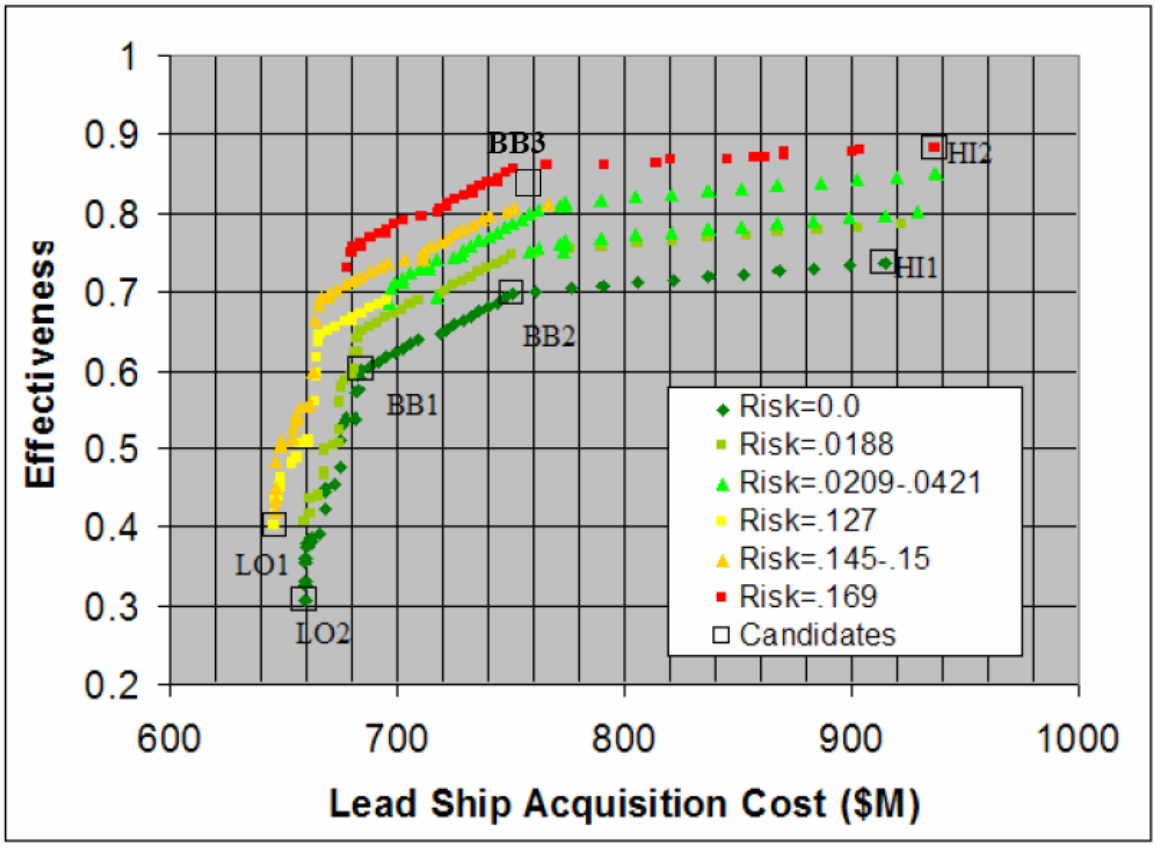
OMOR („Owerall Measure of Risk“) – indeks procjene rizika

Low Risk – niska razina rizika

Medium Risk – srednja razina rizika

High Risk – visoka razina rizika

Pored razmatranja rizika rad [12] se bavi i konceptualnim projektnim modelom višenamjenskog ratnog broda za djelovanje u litoralnim vodama. Projektni model sadrži 18 projektnih varijabli, određeni broj parametara i ograničenja te tri atributa: cijena, rizik i učinkovitost. Atribut globalne učinkovitost se sastoji od 18 specifičnih atributa. Na Slici 25. prikazan je Pareto nedominirani front za višenamjenski litoralni ratni brod.



Slika 25 Pareto nedominirani front višenamjenskog ratnog broda za litoralne vode [12]

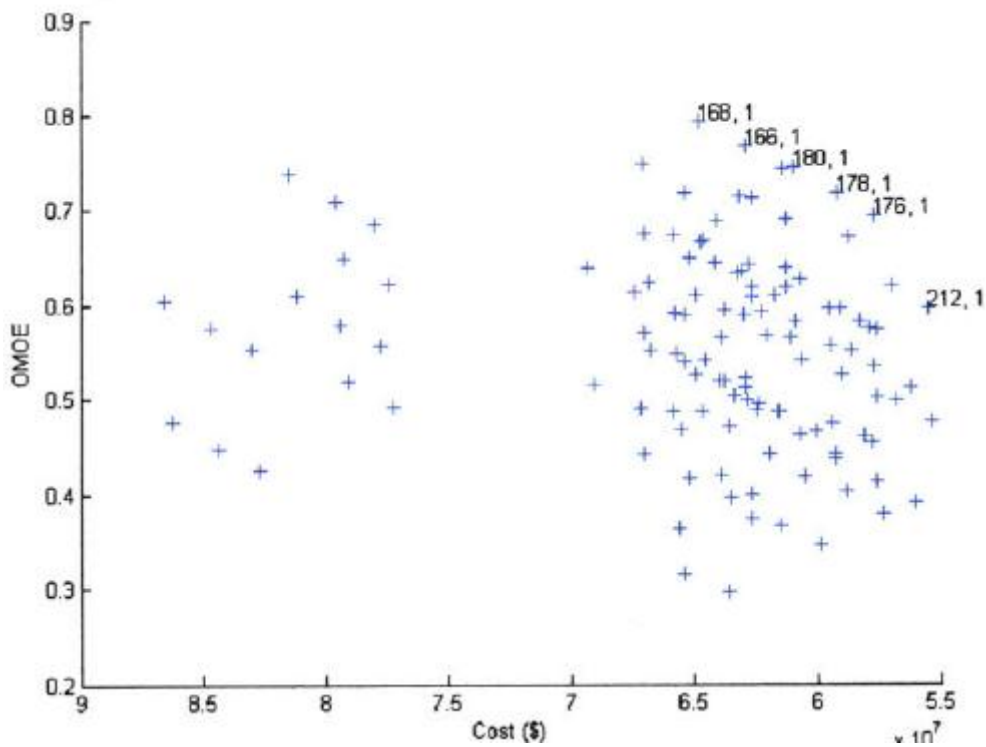
Prijevod pojmova sa slike:

Lead Ship Acquisition Cost – cijena gradnje broda

Effectivness – globalna učinkovitost broda

Risk - rizik

U [31] je prikazan višekriterijski projektni model poludeplasmanskog patrolnog broda. Projektni model sadrži 14 projektnih varijabli, određeni broj parametara i ograničenja te dva atributa cijenu i učinkovitost. Atribut globalne učinkovitosti sastoji se od 11 specifičnih atributa. Na Slici 26. prikazan je Pareto skup projektnih rješenja.



Slika 26. Skup Pareto projektnih rješenja za projektni model patrolnog broda [31]

Prijevod pojmova sa slike:

OMOE („Owerall Measure of Effectiveness“) – globalna učinkovitost

Cost – cijena

Na temelju prikazanih primjera konceptualnog projektnog modela može se zaključiti slijedeće:

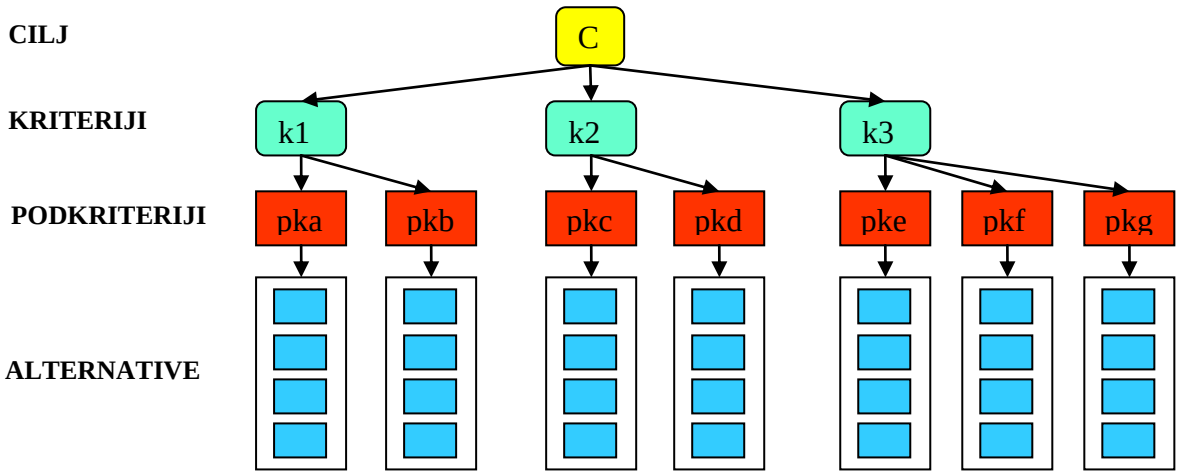
- Način projektiranja ratnog broda kako je gore prikazano temelji se na atributu globalne učinkovitosti ratnog broda koji se sastoji od određenog broja specifičnih atributa. Pored atributa cijene i rizika atribut globalne učinkovitosti je ključan u rangiranju projektnih rješenja i dobivanju skupa Pareto projektnih rješenja,
- U navedenim primjerima konceptualnih projektnih rješenja ovaj pristup kao što je prikazano može se primijeniti za bilo koji tip ratnog broda (razarač, logistički brod, litoralni brod, patrolni brod, amfibijski brod).
- U navedenim modelima uglavnom su korištena dva ili tri atributa i to cijena, učinkovitost i rizik. U višekriterijskom projektnom modelu koji je razvijen u ovom radu primijenjeno je slično strukturiranje atributa: cijena i globalna učinkovitost koja se sastoji od 13 specifičnih atributa.
- Rizik kao atribut nije uključen u predmetnom projektnom modelu iz razloga koji su navedeni u [12] i objašnjavaju kada je potrebno koristiti rizik:

- Procjena rizika je vrlo važna u konceptualnom projektiranju kada se radi o uvođenju novih tehnologija, procesa i koncepata po prvi put što nije dominantno u ovom projektnom modelu.
- Za identifikaciju i kvantificiranje vjerojatnosti rizika i njegovih posljedica poželjan je konkretniji projekt kod kojeg su poznati potencijalni izvođači te konzultiranje velikog broja eksperata iz različitih područja (operativni zahtjevi, naoružanje, zapovijedno informacijski sustavi, brodska oprema, tehnologija gradnje, izrada i integracija softvera, procjena cijene).

- Primjenom atributa cijene i A_{GU} predmetni projektni model je dovoljno kompleksan i zahtjevan te daje relevantne izlazne rezultate, a slično strukturiranje atributa primijenjeno je u [1], [4] i [9].
- Jedna od prednosti ovog pristupa projektiranju ratnog broda je praktičan format prikazivanja izlaznog rezultata projektnog modela koji je prikladan za donošenje odluke o odabiru određenog broja projektnih rješenja. Donositelj odluke na temelju cijene i učinkovitosti može se vrlo lako odlučiti za određeni broj ili jedno projektno rješenje koje bi se razmatralo u daljnjem procesu projektiranja broda.
- Pouzdanost ovog pristupa projektiranja ratnog broda najbolje je dokazivo činjenicom da od jednog dijela gore prezentiranih konceptualnih projektnih modela su nastali realni projekti i ratni brodovi koji su danas u uporabi u mornarici SAD-a („USN – Litoral Combat Ship“ , „LCS 2 „Independence“) i najnovija klasa razarača koji je trenutno u gradnji i koji će mornarica SAD-a koristiti sljedećih 30 godina („USN - DDG 1000 Zumwalt Class“).
- Navedeni pristup projektiranja prema dostupnoj literaturi za sada je primijenjen u SAD-u. Iz dostupne literature (uglavnom Interneta) nije se moglo doći do informacije o korištenju takvog ili sličnog modela u drugim zemljama. Međutim, u ovakvim i sličnim projektima u SAD-u sudjeluju tehnički časnici (inženjeri) iz drugih zemalja (u svojstvu razmjene časnika) kao što je Grčka, Njemačka, Velika Britanije itd.).
- S obzirom na činjenicu da je SAD vodeća u svijetu u razvoju naoružanja i vojne opreme primjena njihovog pristupa u dijelu modela koji se odnosi na strukturiranje atributa u projektnom modelu ne predstavlja nedostatak u modelu već praćenje najnovijih trendova u projektiranju ratnog broda u svijetu.

3.7.1.3 Teoretska podloga AHP

Analitički hijerarhijski proces je teorija o donošenju odluka koja je nadogradnja više-kriterijske teorije učinkovitosti, a koju je krajem 70 godina prošlog stoljeća razvio Thomas Saaty. U tekstu koji slijedi ukratko je opisan AHP preuzet iz [13], dok detaljniji opis i matematička podloga i dokazi AHP se nalaze u [63] i [64]. AHP omogućuje lakše donošenje kompleksnih odluka koje su ovisne o velikom broju kriterija koji utječu na ishod odluke. Primjenom AHP odabira se najbolja alternativa iz skupa ponuđenih koja zadovoljava skup postavljenih kriterija. AHP ima sposobnost prikazivanja kriterija koji utječu na odluku na jedan strukturiran način u hijerarhijskom obliku. Hijerarhijska struktura omogućava donositelju odluke uvođenje raznorodnih vrsta kriterija te njihovo prioretiziranje i određivanje njihovih težinskih vrijednosti analitičkim načinom. Na taj način se jedan složeni problem razlaže na jednostavnije komponente koje se razmatraju zasebno usporedbom parova kriterija, te se zatim sintetiziraju u jednu funkciju učinkovitosti po kojoj se ocjenjuju alternativna rješenja. AHP teorija određuje težinske faktore kriterija na svakoj razini hijerarhije u odnosu na cilj, koristeći iskustvo i znanje eksperata iz predmetnog područja primjenom tzv. matrice usporedbe parova kriterija. Ilustracija hijerarhijske strukture koja se može razviti primjenom ove teorije prikazana je na Slici 27.



Slika 27. Ilustracija hijerarhijske strukture kod primjene AHP

Sukladno AHP usporedba parova primjenjuje skalu od 1 do 9 za dodjeljivanje intenziteta važnosti jednog kriterija u odnosu na drugi. Opis svih vrijednosti intenziteta važnosti prikazan je u Tablici 8. Pretpostavlja se da je onaj koji donosi odluku ekspert iz predmetnog područja kako bi u odluku na najbolji mogući način ugradio svoje iskustvo i znanje kroz određivanja relativne važnosti dva kriterija koji se uspoređuju.

Tablica 8. Intenzitet važnosti kriterija po AHP

Intenzitet važnosti	Definicija	Napomena
1	Jednaka važnost	Dva kriterija sudjeluju jednako u ispunjavanju cilja
3	Slabija važnost 1. naspram 2.	1. kriterij se malo favorizira u odnosu na 2.
5	Velika važnost 1. naspram 2.	1. kriterij se više favorizira u odnosu na 2.
7	Vrlo velika važnost 1. naspram 2.	1. kriterij se u velikoj mjeri favorizira i njegova dominacija je dokazana u praksi
9	Apsolutna važnost jednog naspram drugog	Najveća moguća dominacija jednog kriterija u odnosu na drugi
2,4,6	Među vrijednosti	

Usporedba parova se obavlja za sve kriterije na svakoj razini i grani hijerarhijske strukture, a konačan cilj je dobivanje težinskih koeficijenata. Težinski koeficijenti se dobivaju analitički rješavanjem nul vrijednosti matrice usporedbe parova. Analitičko rješenje težinskih koeficijenata mora biti konzistentno što se može provjeriti primjenom AHP teorije. To je potrebno zbog činjenice što ljudske odluke su često puta nekonzistentne, pod utjecajem različitih subjektivnih osjećaja i drugih okolnih uvjeta. Matematički model AHP teorije zasniva se na matričnom proračunu kako je prikazano u nastavku teksta. U dokazu se kreće od kraja procesa. U (368) je prikazana matrica omjera težinskih koeficijenata za jednu točku hijerarhijske strukture s tri kriterija koji su dobiveni iz matrice usporedbe parova.

$$W = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} \end{bmatrix} \quad [-] \tag{368}$$

Da bi ispunila uvjet konzistentnosti matrica mora biti strukturirana na način:

$$w_{ij} = {w_i}/{w_j} \quad [-] \tag{369}$$

$$w_{ij} = w_{ji}^{-1} \quad [-] \tag{370}$$

$$w_{ij} = w_{ik} \cdot w_{kj} \quad \text{za sve i, j, k} \quad [-] \tag{371}$$

Jednadžba (368) može se preformulirati u sljedeći oblik:

$$W \cdot w = q \cdot w \quad [-] \tag{372}$$

gdje je q maksimalna nul vrijednost matrice W, dok je w vektor nul vrijednosti koje predstavljaju težinske koeficijente. U cilju dobivanja gornjih vrijednosti koje su karakteristične za potpuno konzistentne matrice, Saaty uvodi pretpostavku ulaska u proces s

potencijalno nekonzistentnom matricom usporedbe parova što je obično slučaj kod ljudskih odluka. U tom slučaju (368) se može prikazati kao:

$$A \cdot x = \lambda_{\max} \cdot x \quad [-] \tag{373}$$

gdje je A potencijalno nekonzistentna matrica usporedbe parova kriterija, vrijednosti a_{ij} su samo procjene elemenata konzistentne matrice W, dok je x vektor nul vrijednost matrice A, a $\lambda_{\max}$ maksimalna vrijednost vektora nul vrijednosti matrice A. Jednadžba (373) se rješava traženjem nul vrijednosti nekonzistentne matrice A. Saaty je pokazao da je matrica umjereno nekonzistentna kada je $\lambda_{\max}$ približno jednak broju kriterija, a sve ostale nul vrijednosti su približno jednake nuli. Kada je matrica umjereno konzistentna vrijednosti vektora x predstavljaju težinske koeficijente i njihova suma je 1. Što je $\lambda_{\max}$ bliži broju kriterija to je odluka konzistentnija. Nekonzistentnost se mjeri na način:

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n} \quad [-] \tag{374}$$

gdje je n broj kriterija, a smatra se prihvatljivom kod donošenja odluke ako je ispod 10%. Primjer tablice usporedbe parova dan je u Tablici 9. Na hipotetičkom primjeru iz Tablice 9. kriterij *Naoružanje* ima vrlo veliku važnost u odnosu na kriterij *Pokretljivost*, kriterij *Naoružanje* ima srednje veliku važnost u odnosu na *Preživljavanje*, dok kriterij *Preživljavanje* ima jednaku važnost u odnosu na *Pokretljivost*. Iz ovako određenih relativnih važnosti kriterija može se definirati matrica usporedbe parova za ovu točku hijerarhijskog procesa prikazana u Tablici 10.

Tablica 9. Primjer usporedbe parova dva kriterija

Odredi relativnu važnost kriterija u odnosu na Cilj																		
1- jednaka 3- srednja 5- velika 7- vrlo velika 9- ekstremno velika																		
Naoružanje	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	**Pokretljivost**
Naoružanje	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	**Preživljavanje**
Preživljavanje	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	**Pokretljivost**
Cilj	Maksimiziraj učinkovitost broda																	
Naoružanje	Protubrodski raketni sustav, protupodmornički oružni sustav, PZO sustav																	
Pokretljivost	Maksimalna trajna brzina broda, doplov pri ekonomskoj brzini																	
Preživljavanje	Razine zamjetivosti i borbena otpornost broda																	

Tablica 10. Primjer matrice usporedbe parova

	NAORUŽANJE	POKRETLJIVOST	PREŽIVLJAVANJE
NAORUŽANJE	1	7	3
POKRETLJIVOST	1/7	1	1
PREŽIVLJAVANJE	1/3	1	1

U cilju dobivanja vektora nul vrijednosti izraz (373) prema [65] ima netrivijalna rješenje ako i samo ako je :

$$\det(A - \lambda \cdot EI) = 0 \quad [-] \tag{375}$$

gdje je *EI* jedinična matrica. Određivanje determinante ponekad je komplicirano pa je za potrebe ovog rada korištena približna metoda iz [66] u cilju izračuna vektora nul vrijednosti matrice *A*. U Tablici 11. prikazan je primjer proračuna težinskih koeficijenata primjenom navedene metode.

Tablica 11. Primjer proračuna težinskih koeficijenata iz matrice usporedbe parova

	A	B	C	D	R	EIG
A	1	1/3	1/9	1/5	0.293	0.058
B	3	1	1	1	1.316	0.262
C	9	1	1	3	2.279	0.454
D	5	1	1/3	1	1.136	0.226
Suma					5.024	1.000

Matrica usporedbe parova ima četiri kriterija (A, B, C, i D). U stupcu R se izračuna n-ti korijen od umnoška vrijednosti matrica za svaki redak, a *n* predstavlja broj kriterija na određenom čvoru hijerarhije. Sumiranjem vrijednosti u stupcu R dobiva se 5.024. U stupcu EIG nalaze se težinski koeficijenti koji se dobiju dijeljenjem svih vrijednosti iz stupca R sa sumom 5.024, a čija suma iznosu 1.

3.7.1.4 Primjena AHP na projektnom modelu ratnog broda

Primjenom AHP teorije razvijena je hijerarhijska struktura za potrebe određivanja globalne učinkovitosti ratnog broda u predmetnom projektnom modelu. Hijerarhijska struktura sa svim pripadajućim kriterijima poslužila je za izračun vrijednosti atributa globalne učinkovitosti (A_{GU}) ratnog broda kroz određivanje težinskih koeficijenata svih specifičnih atributa. Vrijednost A_{GU} kreće se u rasponu od 0 do 1. Na Slici 28. prikazana je hijerarhijska struktura za A_{GU}. Za svaki čvor strukture primjenom matrica usporedbe parova izračunati su težinski koeficijenti. Ulaz u matrice usporedbe parova dobiven je od časnika Hrvatske Ratne Mornarice (HRM), iskusnih zapovjednika broda i poznavatelja taktike uporabe ovog tipa ratnog broda. To je učinjeno na temelju ispunjavanja tablica sličnih Tablici 9. za sve čvorove

hijerarhijske strukture sa Slike 28. Za izračun A_{GU} potrebni su konačni težinski koeficijenti druge razine koji su dobiveni množenjem parcijalnih težinskih koeficijenata prve i druge razine. Ista metodologija primijenjena je za dobivanje vrijednosti funkcija performansi pojedinog kriterija iz hijerarhijske strukture. Vrijednosti A_{GU} dobivaju se na način da se sumira umnožak konačnih težinskih koeficijenata i vrijednosti funkcije performansi svih kriterija. Vrijednosti funkcija performansi dobivaju se na isti način kao i težinski koeficijenti primjenom matrice usporedbe parova kriterija. Suma svih konačnih težinskih koeficijenata je 1, dok vrijednosti funkcije performansi pojedinog kriterija se kreću od 0 do 1. Funkcije performansi mogu biti diskretne vrijednost ili kontinuirane krivulje tzv. S – krivulje.

Izraz za A_{GU} je:

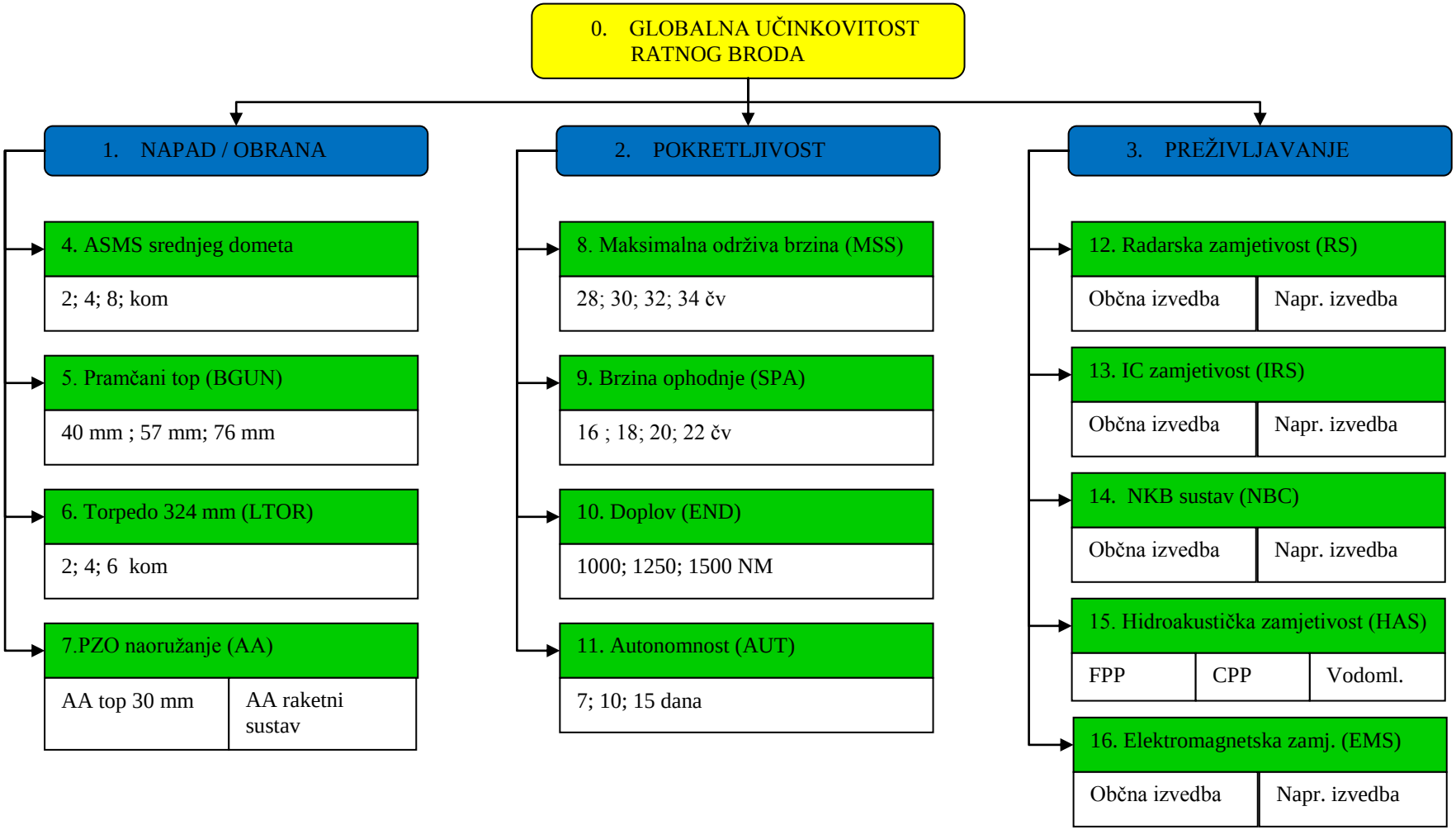
$$A_{GU} = \sum_{i=1}^{N} K_{TK}(i)\, V_{FP}(i) \qquad [-] \qquad (376)$$

U Tablici 12. prikazani su težinski koeficijenti svih specifičnih atributa koji doprinose proračunu vrijednosti $A_{GU.}$

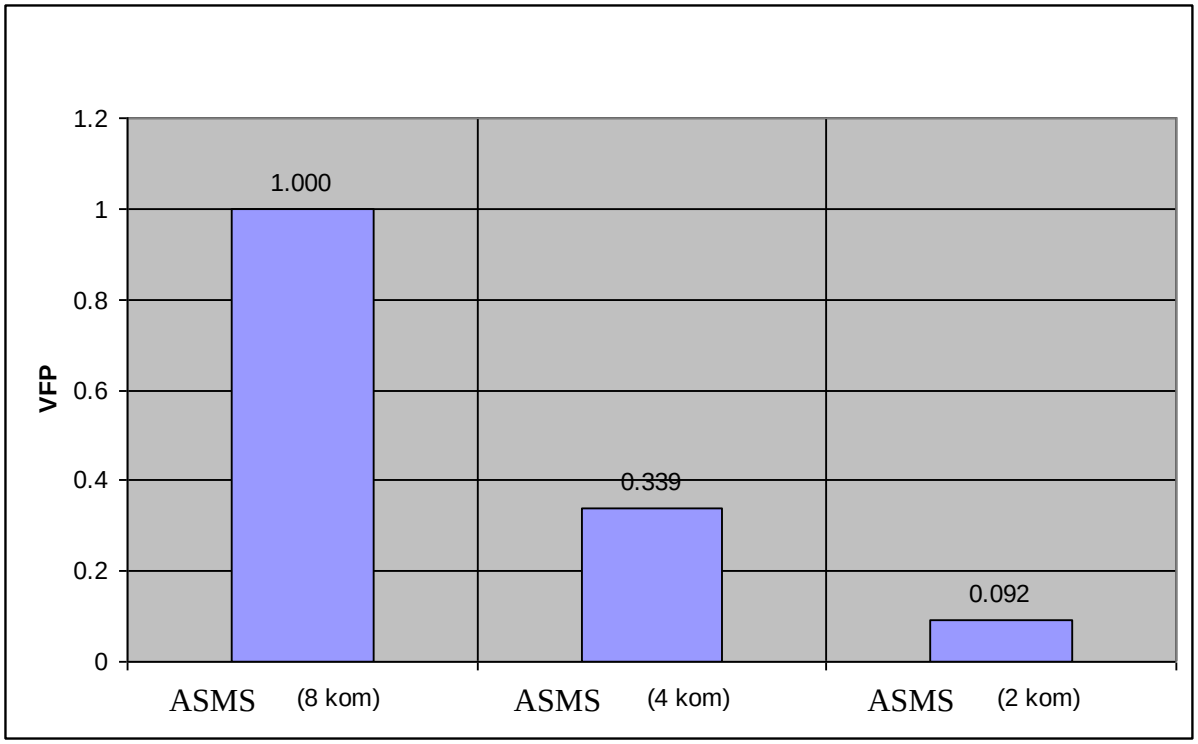
Tablica 12. Specifični atributi u atributu globalne učinkovitosti (A_{GU}) broda

Rbr	Naziv specifičnog atributa	Težinski koeficijent	Vrsta funkcije performansi	Specifični atribut odnosi se na	Slika pripadne funkcije performansi
1	SA ASMS	0.3042	diskretna	Protubrodski raketni sustav	29
2	SA BGUN	0.0306	diskretna	Pramčani top	31
3	SA LTOR	0.0988	diskretna	Torpedno naoružanje	32
4	SA AAS	0.1663	diskretna	Protuzrakoplovni obrambeni sustav	37
5	SA MSS	0.0189	kontinuirana	Maksimalna održiva brzina	33
6	SA SPA	0.0637	kontinuirana	Brzina ophodnje	30
7	SA END	0.0536	diskretna	Doplov	34
8	SA AUT	0.1019	diskretna	Autonomnost broda	35
9	SA RS	0.1019	diskretna	Radarska zamjetivost	38
10	SA IRS	0.0280	diskretna	IR zamjetivost	38
11	SA NBC	0.0244	diskretna	NBC sustav	38
12	SA HAS	0.0176	diskretna	Hidroak. zamjetivost	36
13	SA EMS	0.0280	diskretna	Elektrom. zamjetivost	38

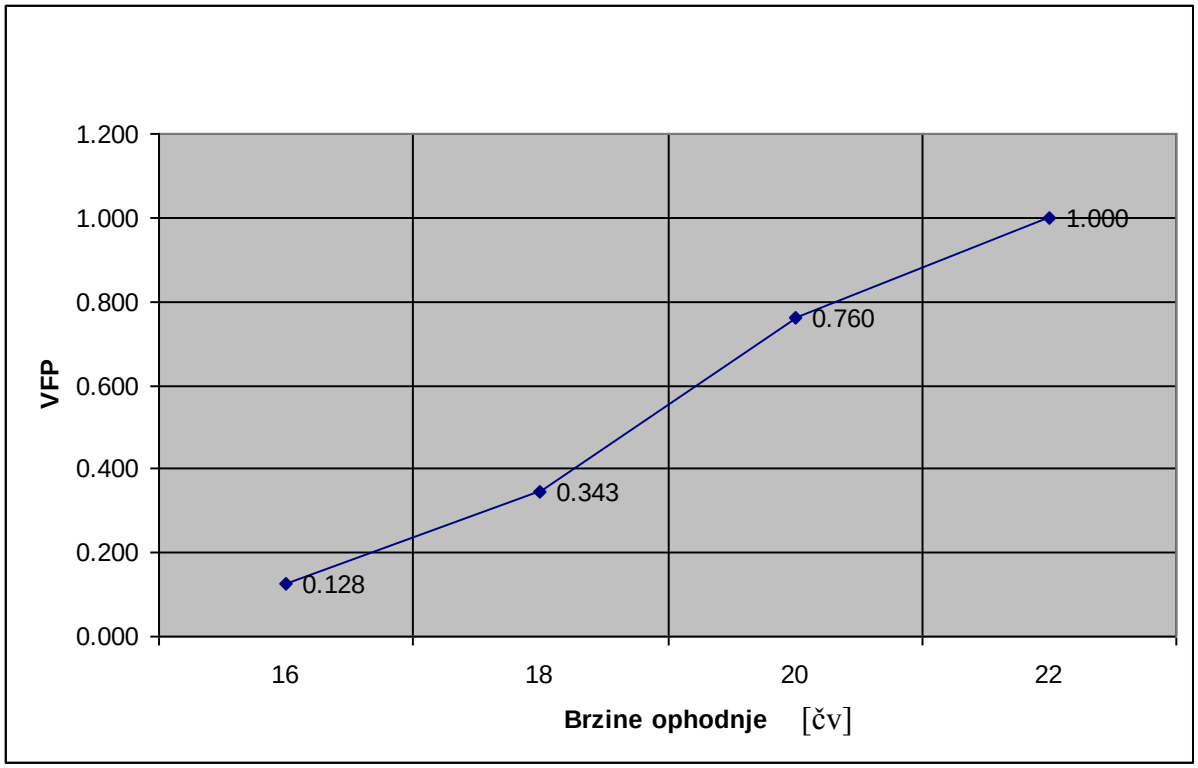
Vrijednosti funkcija performansi svih specifičnih atributa su prikazane su na Slikama od 29. do 38. U Prilogu 7. prikazane su matrice usporedbe parova za sve čvorove hijerarhijske strukture sa Slike 28. Vrijednosti funkcije performansi za specifične atribute preživljavanja, osim hidroakustičke imaju vrijednosti 0 ili 1, ovisno o tome radi li se o izvedbi kada pojedini podsustav preživljavanja nije ugrađen na brod ili izvedbi kada je instaliran na brod.



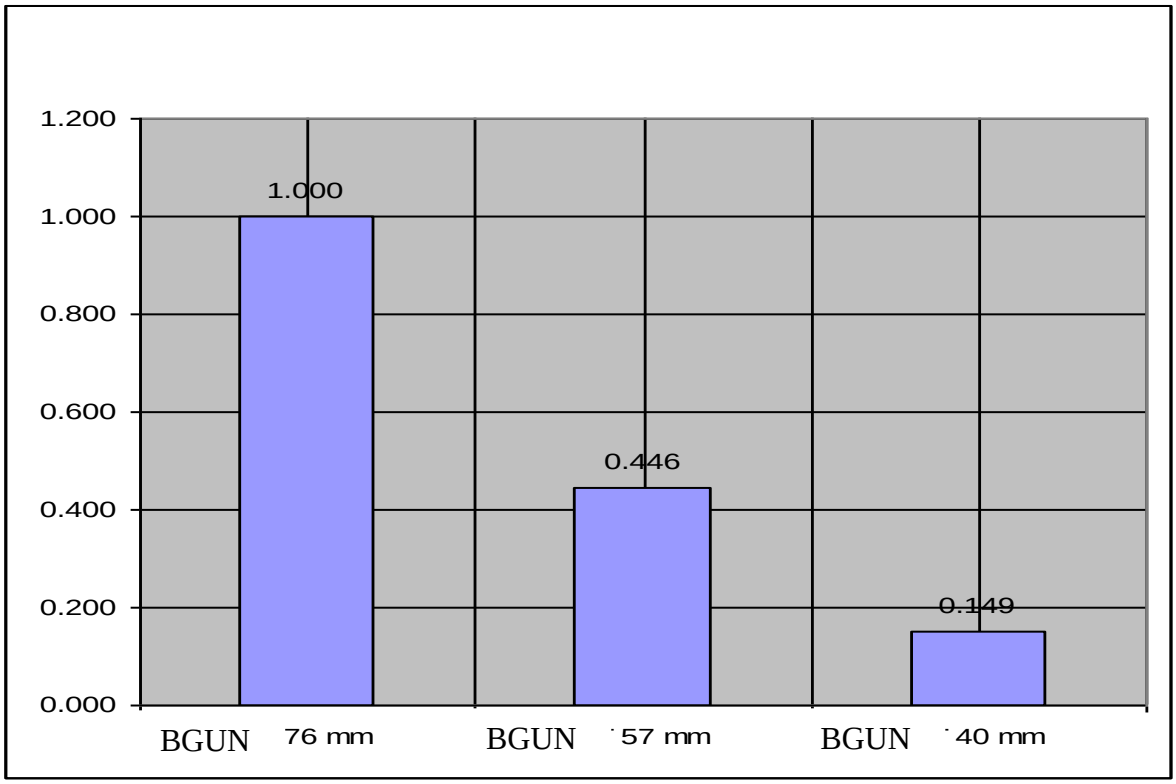
Slika 28. Hijerarhijska struktura globalne učinkovitosti ratnog broda



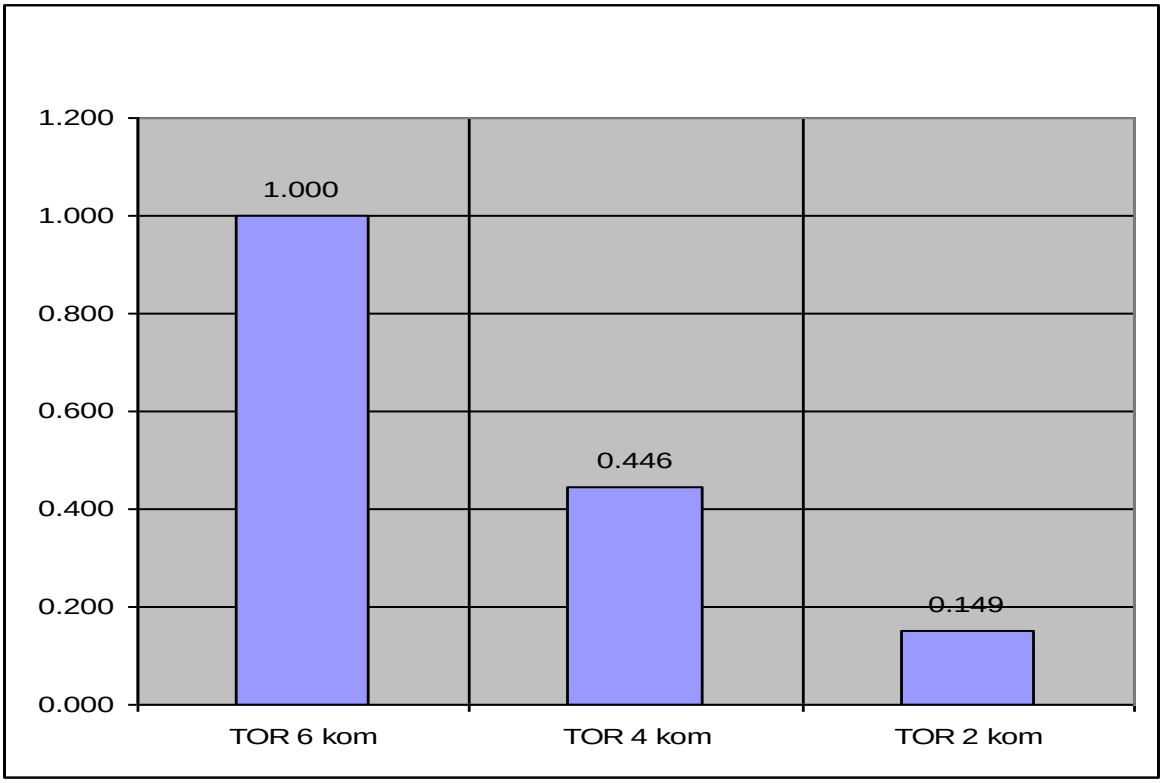
Slika 29. Vrijednosti funkcije performansi za ASMS



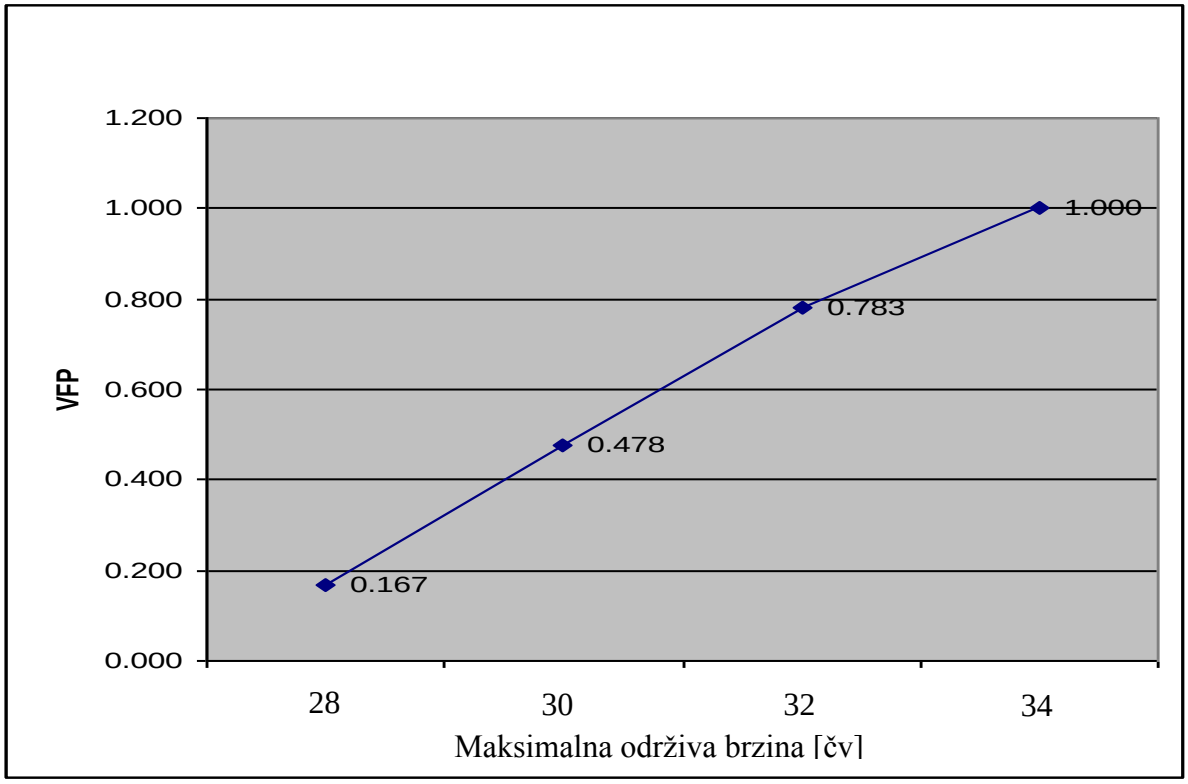
Slika 30. Vrijednosti funkcije performansi za ophodnu brzinu



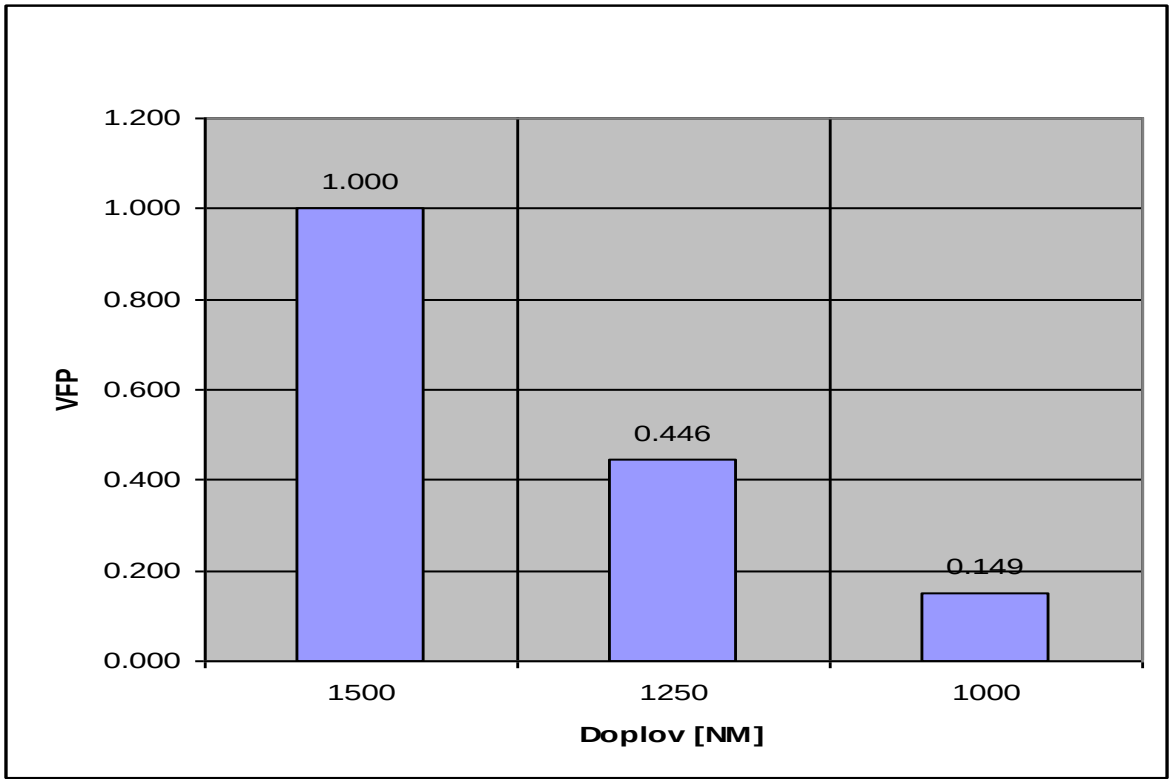
Slika 31. Vrijednosti funkcije performansi za pramčani top



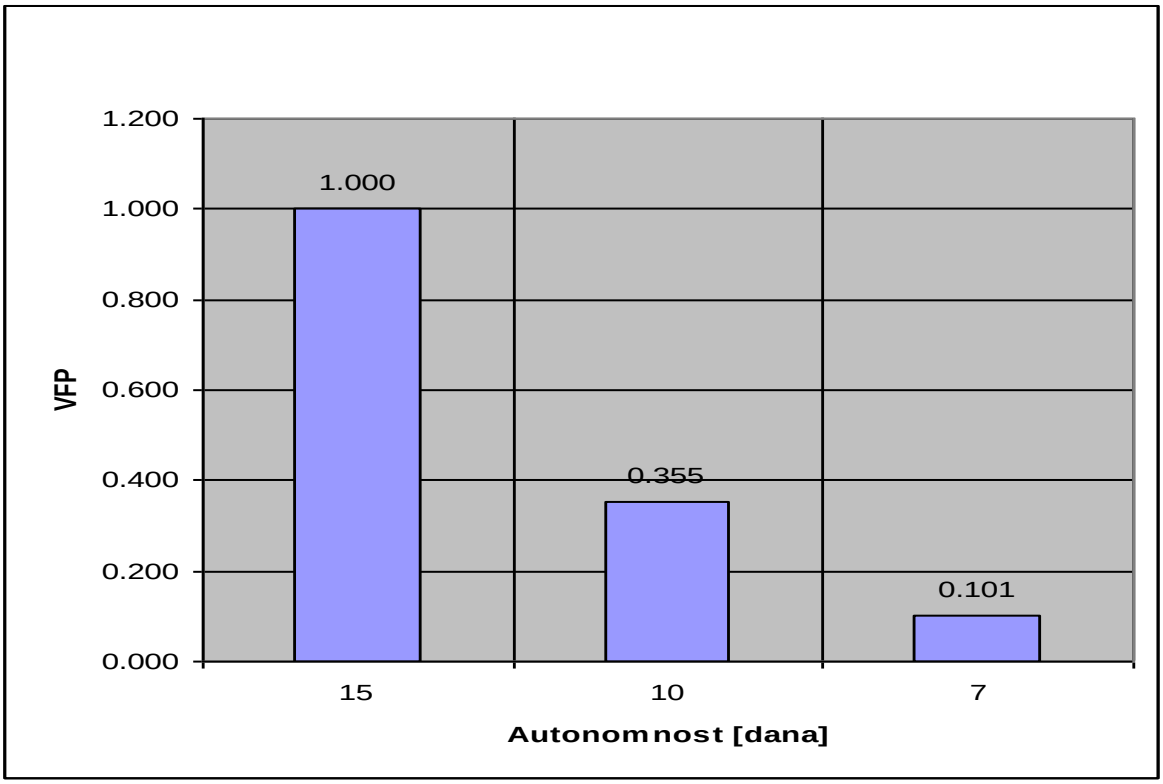
Slika 32. Vrijednosti funkcije performansi za torpedno naoružanje



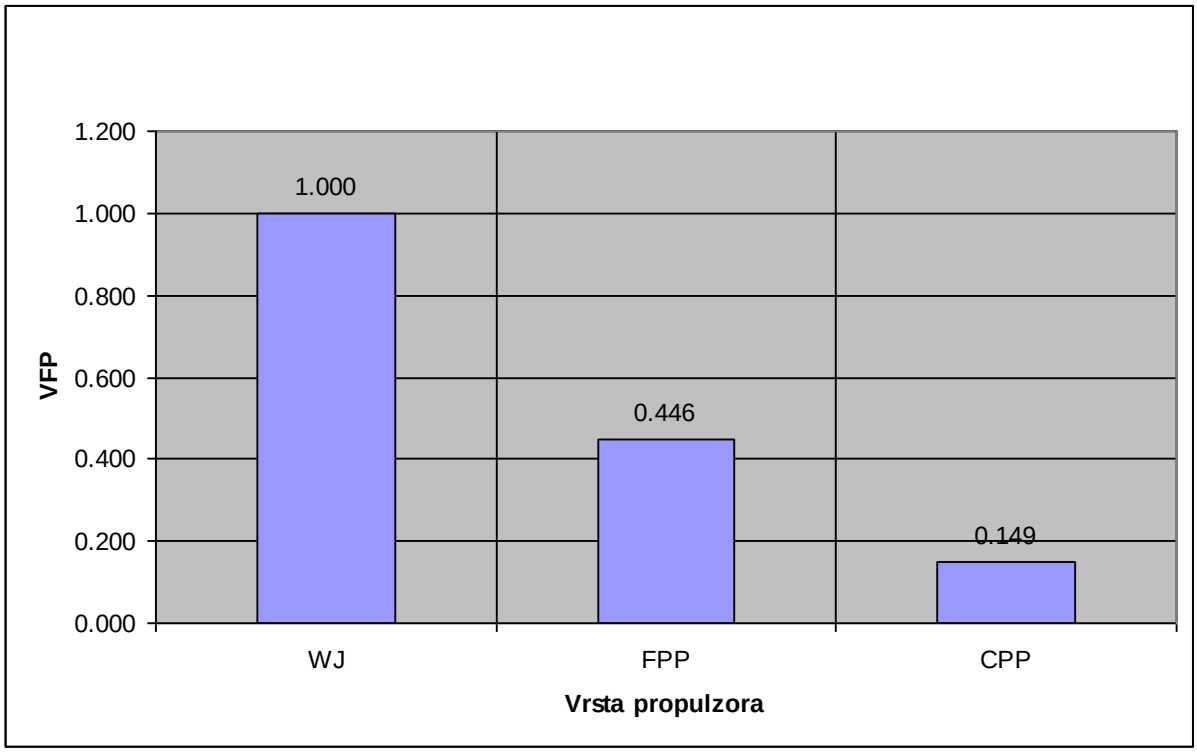
Slika 33. Vrijednosti funkcije performansi za maksimalnu održivu brzinu



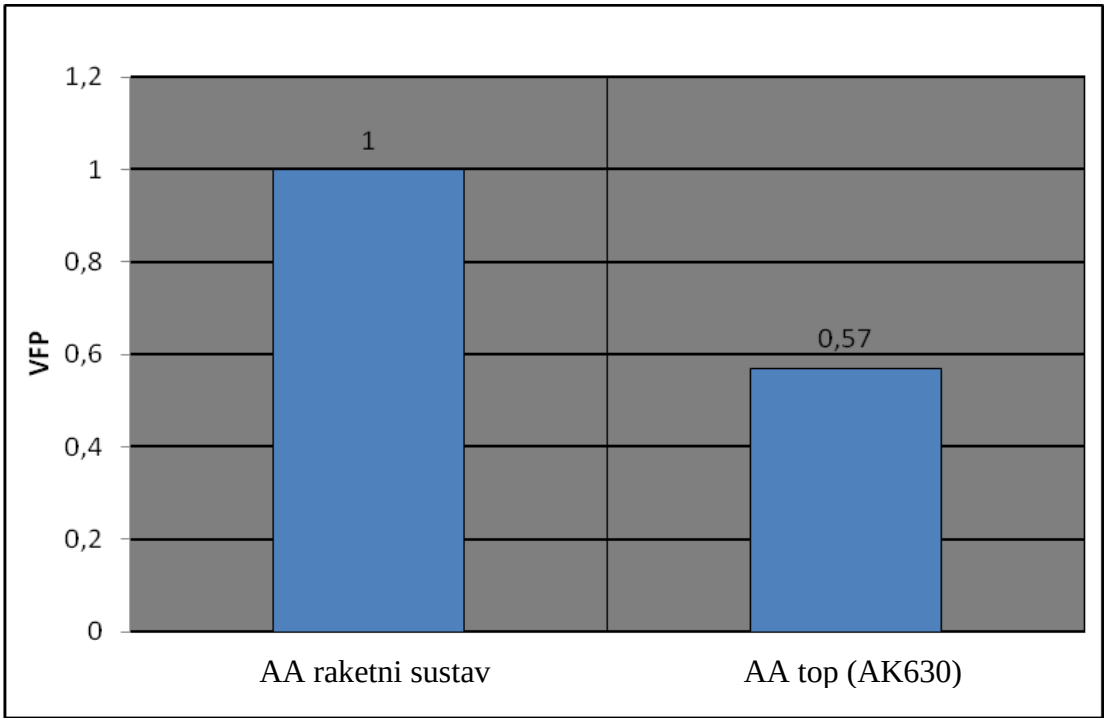
Slika 34. Vrijednosti funkcije performansi za doplov



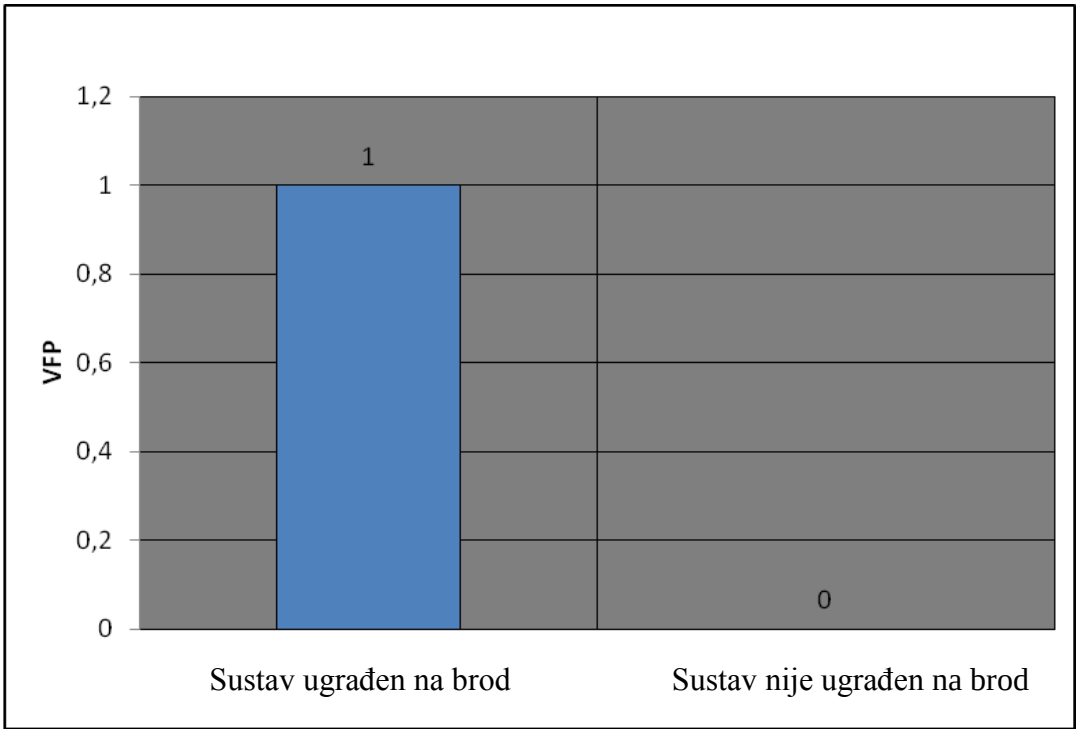
Slika 35. Vrijednosti funkcije performansi za autonomnost



Slika 36. Vrijednosti funkcije performansi za hidroakustičku zamjetivost



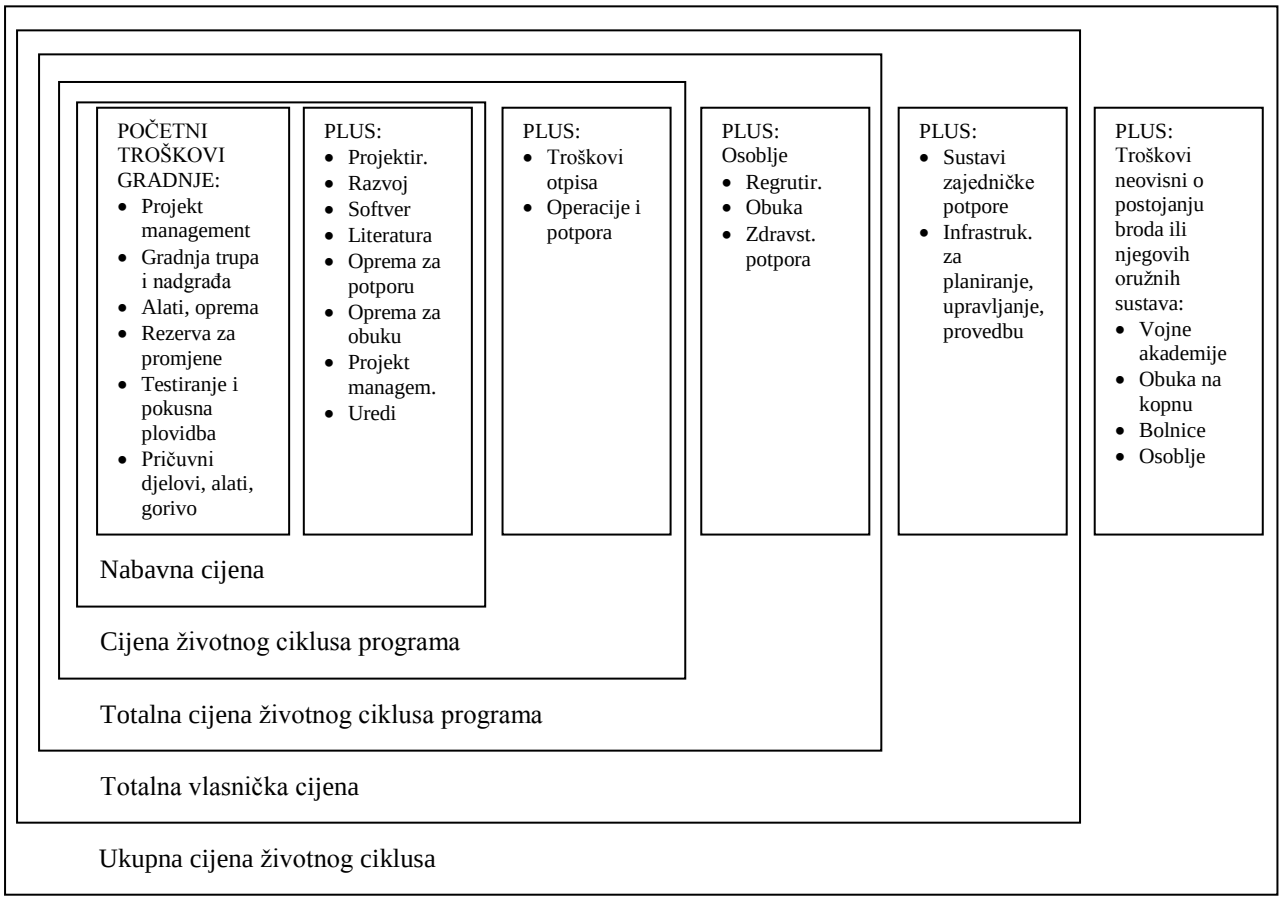
Slika 37. Vrijednosti funkcije performansi AAS



Slika 38. Vrijednosti funkcije performansi za IRS, EMS, RS, NBC

3.7.2 Atribut cijene ratnog broda

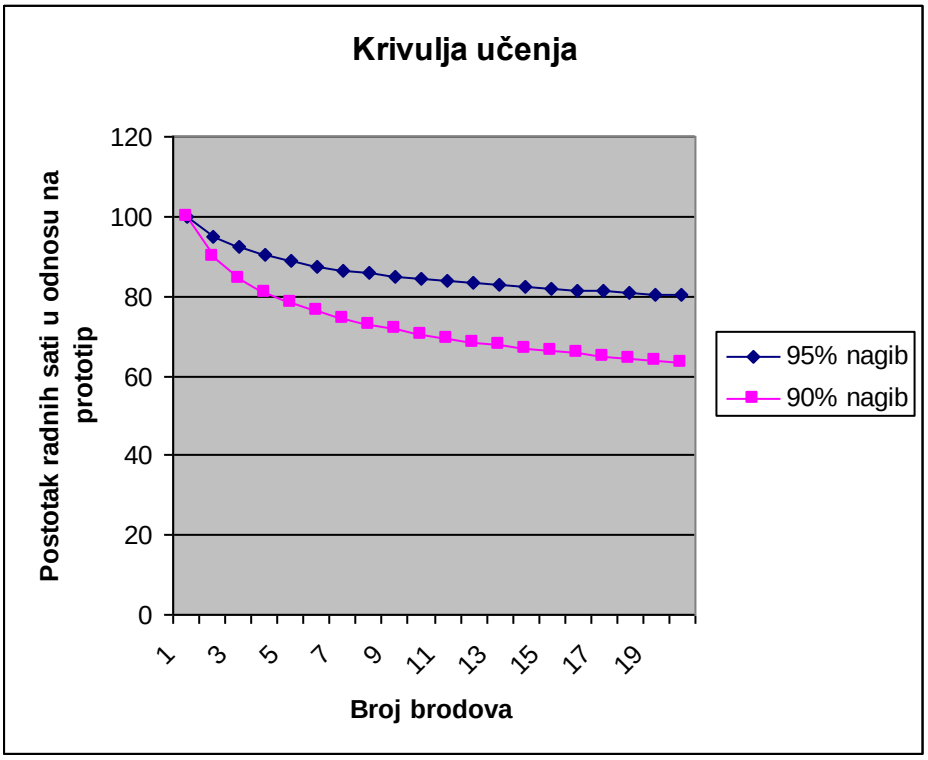
Cijena broda se mora izračunavati tijekom svih faza projektnog procesa broda (konceptualni projekt, idejni projekt, ugovorni projekt, glavni projekt), pa tako i u fazi konceptualnog projekta u cilju uspješne implementacije projekta ratnog broda. Kako bi se procijenio utjecaj cijene na projekt ratnog broda obično se razmatra cijena životnog ciklusa broda. Na Slici 39 prikazane su komponente cijene životnog ciklusa ratnog broda iz [39].



Slika 39. Komponente cijene životnog ciklusa ratnog broda

Početni troškovi gradnje pored gradnje broda u što je uključena gradnja trupa i nadgrađa, ugradnja propulzijskog sustava, ugradnja elektro energetskog postrojenja, brodskih pomoćnih sustava, naoružanja, senzora, brodske opreme uključuje i troškove vođenja projekta, troškove za alate i šablone, troškove promjena u projektu, troškove testiranja i pokusne plovidbe, te troškove za opskrbu broda inicijalnim pričuvnim dijelovima, alatima i gorivom i mazivom. U cilju učinkovitog određivanja cijene trupa i opreme brodske mase su podijeljene na skupine koje su iste kao skupine masa iz podpoglavlja 3.5.8. Cijena materijala trupa i nadgrađa je poznata i ovisi o trenutnom stanju na tržištu dok se cijena rada temelji na određivanju broja čovjek radnih sati po toni ugrađenog materijala koji se dobiju temeljem povijesnih statistički

obrađenih podataka o radu jednog prosječnog brodogradilišta. Kada se radi o seriji brodova nakon prototipa primjenjuje se „krivulja učenja“ kako bi se došlo do broja čovjek radnih sati za brodove iz serije. Primjer „krivulje učenja“ prikazan je na Slici 40.



Slika 40. Primjer krivulje učenja

Cijena naoružanja i elektroničke opreme se posebno procjenjuje primjenom analogije ili parametarskih procjena. Ove cijene se također mogu procijeniti iz direktnih ponuda proizvođača navedene opreme. Cijena softvera se može dobiti procjenom zahtijevanog volumena (broja linija izvornog koda) svih potrebnih vrsta softvera primjenom analogije ili parametarskim procjenama. Na temelju procjene dodatnih troškova instalacije, integracije, sigurnosti za softver dolazi se do potrebnih čovjek dana. Primjenom prosječne čovjek dan cijene dolazi se do procijenjene cijene softvera. Na cijenu materijala i rada pridodaje se profit brodogradilišta te se na taj način dolazi do ukupne prosječne cijene brodogradilišta. Stavke koje se nabavljaju posebno preko vladinih nabavnih službi se vode posebno i pridodaju na cijenu brodograditelja te se dolazi do ukupne cijene gradnje broda.

Do nabavne cijene dolazi se pribrajanjem početnih troškova gradnje sa troškovima projektiranja, razvoja, softvera, literature, obuke itd.

Cijena životnog ciklusa programa pored dosad nabrojanih troškova uključuje troškove potpore koji se odnose na troškove održavanja broda, troškove opskrbe broda gorivom i mazivom te troškove otpisa broda.

Totalna cijena životnog ciklusa uključuje cijenu životnog ciklusa programa kojoj se pridodaju troškovi osoblja vezani za pribavljanje osoblja, obuku i zdravstvenu potporu.

Totalni vlasnički troškovi uključuju troškove totalne cijene životnog ciklusa kojima se pridodaju vezani indirektni fiksni troškovi sustava zajedničke potpore i infrastrukture.

Ukupni troškovi životnog ciklusa pored totalnih vlasničkih troškova uključuju i indirektne troškove koji nisu direktno vezani za brod kao što su troškovi vojnih akademija, obuke na kopnu, bolnica i drugog mornaričkog osoblja.

Za procjenu cijene ratnog broda koriste se modeli cijene programa, projekta ili sustava. Na razini životnog ciklusa model cijene sadrži varijable i jednadžbe koje se primjenjuju za procjenu pojedinih elemenata cijene. Takvi modeli uzimaju u obzir inflaciju, ekonomske faktore, „krivulju učenja“, cijenu operiranja, logističku potporu, tržišnu produktivnost itd.

Procjena cijene broda je vrlo važna i u ovom radu, a temeljem nje se mogu uspoređivat generirana projektna rješenja. Postoji niz čimbenika koji utječu na konačnu cijenu gradnje ratnog broda kao što su poskupljenja materijala i naoružanja, inflacija, dodatni nepredviđeni troškovi itd. Troškovi proizvodnje broda ovise o brodogradilištu, razini tehnologije koju primjenjuje, te o procesu učenja i poboljšanja tijekom proizvodnje na način da svaki sljedeći brod iz serije bude jeftiniji od prethodnog. Na cijenu broda u velikoj mjeri može utjecat broj brodova u seriji, ako je on veći mogu se očekivat i veće prosječne uštede zbog primjene iskustva, učenja i poboljšanja postojećih tehnoloških procesa. Brodogradilišta koja primjenjuju modularni način gradnje i najnovija tehnološka postignuća u automatizaciji proizvodnje također mogu kroz dobru organiziranost i smanjenje broja radnika značajno utjecat na cijenu proizvodnje broda. U NATO publikaciji [68] prikazan je niz načina kojima se cijena životnog ciklusa ratnog broda može smanjiti, što govori o važnosti cijene ratnog broda za NATO zemlje. Prema [69] postoje četiri načina procjene cijene ratnog broda: analogijom, parametarski, ekstrapolacijom i ekspertnom procjenom. Analogija koristi direktnu usporedbu dva slična sustava, primjenjuje se u ranijim fazama projekta, a temelji se na povijesnim podacima. Parametarske procjene temelje se na procjeni cijene temeljem projektnih parametara broda kao što su dimenzije broda, masa, instalirana snaga, itd. Takve analize koriste matematičke izraze koji vežu cijenu s ulaznim parametrima broda primjenom regresijske analize, a opći oblik jednadžbe za procjenu cijene je:

$$C_{BS} = k_c \cdot W \text{ [MEUR]} \tag{377}$$

gdje je k_c iskustveni koeficijent cijene temeljen na povijesnim podacima, dok je W masa brodskog sustava ili dijela sustava. Metode ekstrapolacije mogu se primijeniti kada postoje

cijene već izgrađenih sličnih sustava, a one su teško primjenjive kada se radi o primjeni novih tehnologija. Procjene koje se temelje na procjeni eksperata također mogu biti nedovoljno precizne, ovisno o instituciji iz koje dolaze eksperti te njihovim interesima vezano za realizaciju projekta. Primjer eksperata mogu biti projektanti broda, brodogradilišta, dobavljači opreme i slično.

U skladu s [69] najveće uštede u cijeni životnog ciklusa ratnog broda mogu se postići u ranijoj fazi projektiranja broda, dok što projekt ide prema detaljnijim fazama te mogućnosti su sve manje. Iz navedenog razloga potrebno je posvetiti punu pažnju cijeni broda u konceptualnoj i preliminarnoj fazi projekta. [69] prezentira niz modela procjene cijene ratnog broda koje se temelje na iskustvenim i povijesnim podacima o gradnji ratnih brodova za potrebe SAD-a. Određivanje atributa cijene ratnog broda za potrebe predmetnog projektnog modela je bio veliki izazov iz sljedećih razloga. Ratna brodogradnja u RH u zadnjih deset godina gotovo i ne postoji, nije izgrađen niti jedan novi ratni brod, zbog toga ne postoje povijesni podaci o cijenama koji bi se mogli koristiti u definiranju modela za proračun atributa cijene. Korištenje starijih podataka ne bi bilo pouzdano zbog činjenice što su se cijene materijala i cijene radova značajno promijenile u razdoblju od zadnjih 20 godina. Na žalost, tijekom tog vremena najvjerojatnije je izgubljen i jedan dio znanja i iskustva koje je bilo akumulirano u brodogradilištima koja su se bavila ratnom brodogradnjom. Iz navedenog proizlazi da je trenutna situacija takva, da kad bi se hipotetički krenulo u gradnju novog ratnog broda u RH, procjenjuje se da bi cijena prototipa bila značajno velika, dok bi cijena svakog slijedećeg broda bila manja. Atribut cijene ratnog broda sastoji se od cijene projektiranja, gradnje, troškova za posadu i gorivo, te troškova održavanja broda za vrijeme životnog ciklusa broda koji je pretpostavljen na 25 godina. U cijenu gradnje ulazi nabavna cijena materijala na koju se dodaje cijena poreza, te cijena radova na obradi i ugradnji materijala u brod. Za potrebe predmetnog projektnog modela nisu se mogli primijeniti modeli cijene iz [67] i [69] jer oni odražavaju utjecaj znanja, iskustva i primjene brodograđevne tehnologije u SAD-u, što svakako nije primjenjivo na stanje ratne brodogradnje u RH. Za potrebe predmetnog projektnog modela atribut cijene sastoji se od tri glavne komponente. Prva komponenta odnosi se na cijene pojedine opreme i naoružanja koje su određene temeljem postojećih ponuda domaćih i stranih tvrtki vezano za nabavu i ugradnju. Te cijene se odnose na brodsko naoružanje, zapovjedno informacijske i komunikacijske sustave, navigacijsku opremu, te opremu pogonskog sustava. Cijene navedene opreme su definirane u obliku baze podataka. Druga komponenta cijene temelji se na određivanju cijene ovisno o masi pojedinih brodskih skupina kao što su skupine 1,3,5 i 6. Proračun cijene navedenih skupina masa zasniva se na

izrazu (377) tj. masi pojedine skupine i iskustvenom koeficijentu cijene koji u sebi sadrži znanje, iskustvo i primjenu tehnoloških brodograđevnih procesa u RH. Koeficijenti cijene dobiveni su iz [70] gdje je izvršen proračun cijene pojedinih brodskih skupina masa za sličan brod. [70] se bavi studijom izvedivosti nekoliko projektnih rješenja ophodnog obalnog broda, te je procijenjeno da bi koeficijenti cijena za skupine masa 1,3,5 i 6 bili prihvatljivi za predmetni projektni model. Treća komponenta sadrži cijenu posade, troškove goriva i maziva, te cijenu održavanja broda za vrijeme životnog ciklusa od 25 godina. Cijena posade izračunava se na temelju broja posade i prosječne bruto plaće po jednom članu posade, što se množi s brojem mjeseci u životnom ciklusu broda. Cijena goriva i maziva proračunava se temeljem profila brzine broda koji je određen na osnovu dosadašnjeg iskustva u uporabi sličnih brodova u HRM. Cijena održavanja je određena kao frakcija cijene gradnje broda godišnje, a postotak je određen na temelju cijena održavanja sličnih brodova u HRM. U navedene cijene nije uključena inflacija koja bi tijekom životnog ciklusa značajno povećala ukupnu cijenu.

Izraz za cijenu životnog ciklusa broda sukladno pojednostavljenom gore opisanom modelu je:

$$C_{TLC} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_{SJ} + C_{MN} + C_{CREW} + C_{FL} \left[MEUR\right] \quad (378)$$

$$C_1 = C_{MTRJ}(OMAT) \cdot (W_1 - W_{106}) + C_{MNDJ} \cdot W_{106} \left[MEUR\right] \quad (379)$$

$$C_2 = C_{PROJ} \cdot W_{2P} + C_{OPPJ} \cdot (W_{203} + W_{201}) \left[MEUR\right] \quad (380)$$

$$C_3 = C_{ELOPJ} \cdot W_3 \left[MEUR\right] \quad (381)$$

$$C_4 = C_{C4IJ} \cdot W_4 \left[MEUR\right] \quad (382)$$

$$C_5 = C_{BPOJ} \cdot W_5 \left[MEUR\right] \quad (383)$$

$$C_6 = C_{BOPJ} \cdot W_6 \left[MEUR\right] \quad (384)$$

$$C_7 = C_{BG}(OBGNS) + C_{AA}(OAAS) + C_{LTOR}(OLTOR) + C_{ASMS}(OASMS) \left[MEUR\right] \quad (385)$$

$$C_{SJ} = C_{MSJ}(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7) \left[MEUR\right] \quad (386)$$

$$C_{MN} = C_{MNP} \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_{SJ} \cdot N_{JLC}) \left[MEUR\right] \quad (387)$$

$$C_{FL} = W_{902} \cdot G_{AMAF} \cdot C_{GORJ} / 1000.0 + 0.025 \cdot W_{902} \cdot G_{AMAF} \cdot 4 \cdot C_{GORJ} / 1000.0 \left[MEUR\right] \quad (388)$$

Procjenjuje se da je navedeni model cijene dostatan za proračun atributa cijene broda koji se koristi za ocjenjivanje i rangiranje generiranih projektnih rješenja u cilju dobivanja preferiranih projektnih rješenja najmanje cijene.

4 PRIMJENJENA METODA ZA DOBIVANJE PREFERIRANIH PROJEKTNIH RJEŠENJA

4.1 Teorijska podloga višekriterijske optimizacije

O ovom poglavlju obrađena je višekriterijska optimizacija konceptualnog projekta višenamjenskog ratnog broda. Projektni zahtjevi projektnog modela opisani su u podpoglavlju 1.3, dok je matematički model višekriterijskog konceptualnog projekta u cijelosti prezentiran u 3. poglavlju ovog rada. U ovom dijelu fokus je na metodi optimizacije uz primjenu Pareto principa dobivanja preferiranih projektnih rješenja. Opća teorijska podloga višekriterijske optimizacije prikazana je u tekstu koji slijedi.

Potrebno je odrediti minimum / maksimum:

atributa (funkcija cilja),

$$f_m(x), \qquad m = 1,2,...,M \qquad [-] \tag{389}$$

primjenom ograničenja nejednakosti,

$$g_j(x) \geq 0, \quad j = 1,2,...,J \qquad [-] \tag{390}$$

ograničenja jednakosti,

$$h_k(x) = 0, \quad k = 1,2,...,K \quad [-] \tag{391}$$

i projektnih varijabli

$$x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)} \quad i = 1,2,...,n \quad [-] \tag{392}$$

U jednokriterijskoj optimizaciji postoji samo jedan atribut dok u ovom slučaju postoji više atributa za koje se traži minimalna ili maksimalna vrijednost. Kod jednokriterijske optimizacije konačan rezultat je jedno projektno rješenje dok u ovom slučaju je to niz projektnih rješenja koje dobivamo primjenom Pareto odabira preferiranih rješenja. Atributi u većini slučajeva kod višekriterijske optimizacije su u konfliktu tj. optimizacijom jednog utječe se na drugog i obrnuto, pa za preferirana projektna rješenja se kaže da nisu optimalna već su rezultat kompromisa. Projektni prostor projektnog modela je definiran rasponima projektnih varijabli (392), unutar tog prostora postoje izvediva rješenja koja su definirana ograničenjima (390) i (391), te neizvediva koja se nalaze izvan tog prostora. Prema [40] postoje dva temeljna cilja višekriterijske optimizacije:

1. Pronaći skup projektnih rješenja u blizini Pareto optimalnih rješenja,
2. Skup Pareto rješenja mora biti distribuiran po cijeloj Pareto krivulji ili plohi.

S obzirom da je Pareto odabir preferiranih projektnih rješenja jedan od važnih dijelova ove metode dana je definicija Pareto optimalnog skupa preuzeta iz [43]:

Za slučaj minimizacije atributa (389), uz uvjete ograničenja (390) i (391), te projektnih varijabli (392) može se kazati da vektor rješenja x^P dominira drugi vektor rješenja x ako i samo ako

$$\forall m,\ f_m(x^P) \leq f_m(x) \wedge \exists m,\ f_m(x^P) \prec f_m(x),\ m \in \{1,2,3,...,M\} \qquad (393)$$

Rješenje je Pareto optimalno ako ga ne dominira niti jedno drugo rješenje. U višekriterijskoj optimizaciji obično se radi o skupu nedominiranih Pareto rješenja koja dominiraju sva druga rješenja u projektnom prostoru. Tijekom procesa Pareto rangiranja projektnih rješenja pored Pareto optimalnog skupa rješenja algoritam sortira projektna rješenja u više skupova, od kojih je prvi skup Pareto optimalan i dominira sve ostale, drugi skup dominira treći i sve ostale itd. Detalji metode optimizacije te način dobivanja Pareto optimalnih rješenja opisan je u slijedećem podpoglavlju.

4.2 Usporedba metoda višekriterijske optimizacije i odabir povoljnije

Potencijalne metode koje su se razmatrale za primjenu na višekriterijskom projektnom modelu ratnog broda su Monte Carlo (MC), Inteligencija čestica roja (PSI – Particle Swarm Intelligence) i Evolucijski algoritmi (EA-Evolution Algorithms). MC je stohastička metoda koja se zasniva na sekvencijalnoj primjeni slučajnih brojeva i teoriji vjerojatnosti kod rješavanja različitih vrsta problema. Njena primjena je pogodna za modeliranje kompleksnih sustava koje nije moguće riješiti determinističkim pristupom. Primjenom MC metode veliki sustav može biti prikazan u određenom broju slučajnih uzoraka, a ti podaci mogu se koristiti za opisivanje cijelog sustava. Jedini zahtjev za primjenu MC metode je da se sustav može opisati prikladnom funkcijom distribucije vjerojatnosti temeljem koje se vrši slučajno uzorkovanje.

PSI je metoda optimizacije koja se zasniva na obliku inteligencije roja u kojem se simulira ponašanje biološkog socijalnog sustava kao što je jato ptica ili riba. Matematički model zasniva se na skupu individua od kojih je svaka karakterizirana položajem i brzinom. Položaj korespondira sa potencijalnim rješenjem dok vektor brzine jedne individue određuje u kojem smjeru se provodi pretraživanje te je li on u funkciji istraživanja (visoke brzine) ili iskorištavanja (manje brzine). Algoritam memorira sve pozicije individue tijekom procesa optimizacije, a najbolja pozicija na kojoj je bila neka individua korespondira s optimumom.

Evolucijski Algoritmi su optimizacijski algoritmi koji se temelje na teoriji evolucije i preživljavanja najprilagodljivijih. Primjenjuju mehanizme kao što je mutacija, križanje,

prirodna selekcija i preživljavanje najboljih kako bi se poboljšao skup rješenja u iterativnom procesu. Jedan od evolucijskih algoritama je i genetički algoritam.

Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu razvijen je DeMak (Decision Making) programski paket koji se primjenjuje kod rješavanja višekriterijskih optimizacijskih problema. On sadrži više optimizacijskih metoda od kojih se koristi ona koja je najprikladnija za određeni problem. Sukladno [71] metode koje se koriste u DeMak-u su:

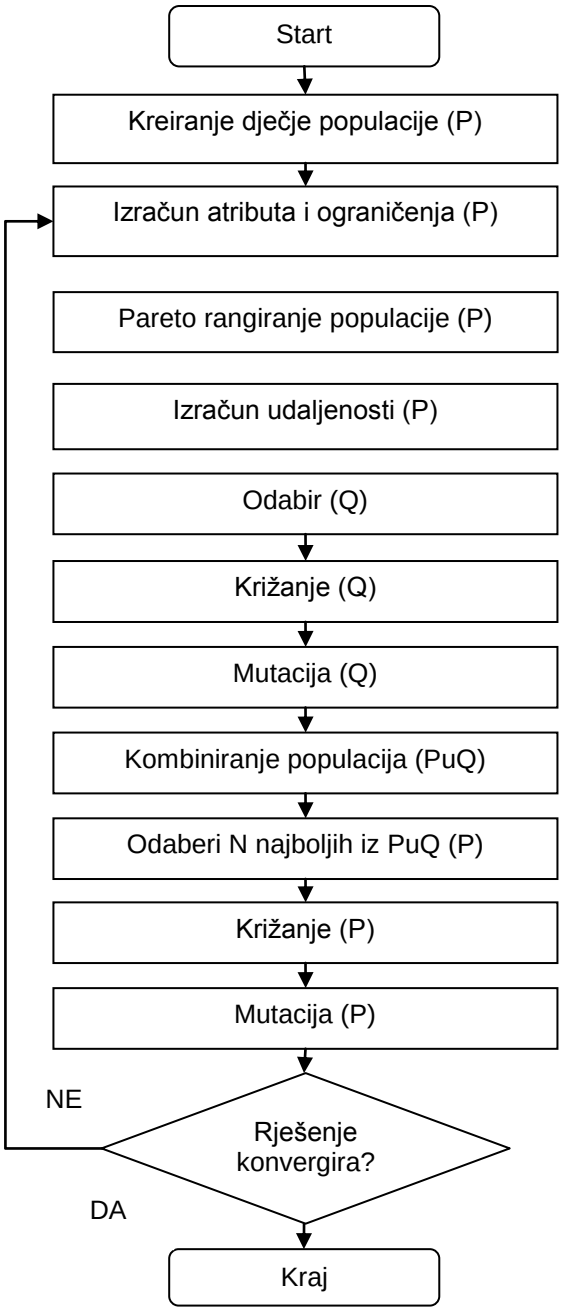
- Monte Carlo,
- Metode evolucijskih strategija,
- Projektiranje primjenom frakcijskih faktorijela,
- Genetički algoritam (MOGA – Multi Objective Genetic Algorithm),
- Višekriterijska optimizacija koja se temelji na inteligenciji roja.

Navedeni programski paket se mogao koristiti za potrebe višekriterijskog projektnog modela višenamjenskog ratnog broda. Budući da autor ovog rada nije imao dovoljno informacija o ovom programskom paketu, njegovoj dostupnosti i mogućnostima tijekom razvoja ovog rada nije došlo do korištenja ovog paketa.

Pored navedenog kod razmatranja i odabira najprihvatljivije metode za rješavanje višekriterijske optimizacije razmatrane su i metode od kojih su neke prikazane u [44] i [45] dok su u konačnici odabrane dvije metode koje su detaljnije razmotrene, testirane na poznatim testnim funkcijama, te je odabrana najprihvatljivija. U 4.2.1 prikazana je metoda „Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II“ ili skraćeno NSGA-II, dok je u 4.2.2 prikazana metoda „Parameterless Penalty Non-Dominated Ranking Genetic Algorithm“ ili skraćeno PP-NRGA. U 4.2.3 prikazani su rezultati navedenih metoda te odluka o odabiru povoljnije.

4.2.1 Višekriterijska optimizacija: NSGA-II algoritam

U [46], [47], [48], [49] i [50] detaljno je opisana metoda NSGA-II dok je u ovom podpoglavlju dan njen skraćeni prikaz. Metoda se temelji na nekoliko važnih postavki od kojih se prva odnosi na primjenu brzog algoritma za nedominirano Pareto sortiranje projektnih rješenja, drugo je uvođenje elitizma primjenom „roditeljske“ i „dječje“ populacije, primjena uvjeta ograničenja bez penalizacije i dodatnih parametara, te uvođenje mehanizma za dobru distribuciju rješenja po cijelom Pareto frontu. Opći dijagram toka metode prikazan je na Slici 41.



Slika 41. Dijagram toka metode NSGA-II

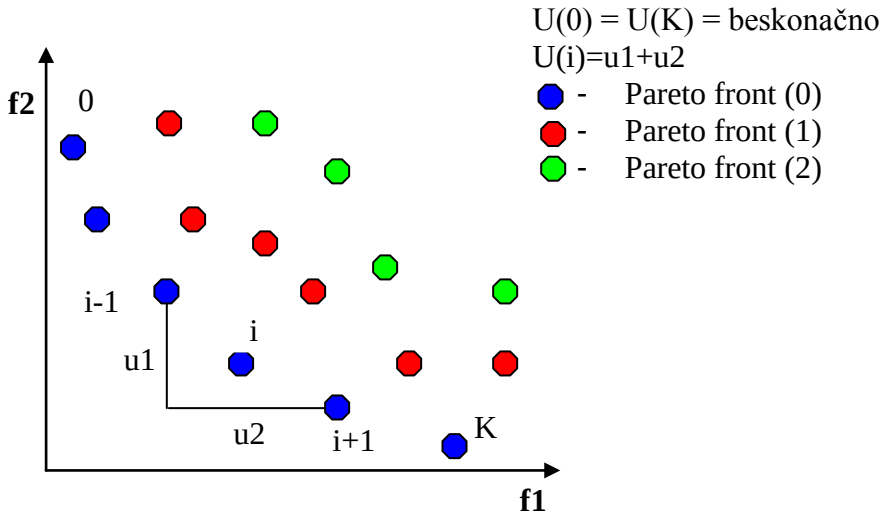
Na početku algoritma inicijalizira se početna „dječja“ populacija P na uobičajeni način s veličinom populacije N. Izračunaju se atributi i ograničenja, a populacija se zatim sortira primjenom Pareto nedominiranog rangiranja (383) tj. svako rješenje mora se usporediti sa svim ostalima kako bi se utvrdilo je li ono dominirano ili ne. To se postiže u više ciklusa ovisno o broju frontova cijele populacije rješenja. U prvom ciklusu se određuju nedomonirana rješenja tj. Pareto optimalna rješenja. Ta rješenja se privremeno izdvajaju iz populacije, traži se novi skup nedominiranih rješenja koji predstavljaju drugi Pareto front koji se izdvaja iz

populacije i tako se proces nastavlja dok se ne dobiju svi Pareto frontovi. Nakon završetka ovog procesa svim rješenjima se dodjeljuje rang, nedominirana rješenja dobivaju rang 0, sljedeći rang se označava s 1, sljedeći s 2, itd. U [47] je detaljno opisana procedura sortiranja kojom se cijeli proces pojednostavljuje, te se značajno smanjuje vrijeme rada računala. Za višekriterijsku optimizaciju, pored uobičajenih Pareto principa rangiranja uvodi se kriterij „dominacije u ograničenim uvjetima“ kao što je prikazano u [46] pomoću kojeg se razlikuju izvediva rješenja od neizvodivih a definicija nedominiranosti se mijenja na sljedeći način:

Za rješenje *m* se kaže da „dominira u ograničenim uvjetima“ rješenje *k* ako je bar jedan od sljedećih uvjeta ispunjen:

a) Rješenje *m* je izvedivo a rješenje *k* nije,
b) Oba rješenja *m* i *k* su neizvediva, ali rješenje *m* ima manje prekoračenje ukupnih ograničenja,
c) Rješenje *m* i *k* su izvodiva i rješenje *m* dominira rješenje *k* na normalan Pareto način.

Gore opisana nova definicija „dominacije u ograničenim uvjetima“ je ključna za postizanje učinkovitog algoritma za sortiranje rješenja u uvjetima ograničenja, a na ovaj način se izbjegava i penalizacija neizvodivih rješenja. Nakon Pareto rangiranja vrši se izračun udaljenosti između rješenja na pojedinim Pareto frontovima. Te udaljenosti služe tijekom odabira u cilju preferiranja onih rješenja koja se nalaze u području gdje ima manje rješenja kako bi se postigao dobar raspored i gustoća rješenja po cijeloj Pareto krivulji. Na Slici 42. prikazan je način izračuna udaljenosti između rješenja na jednom Pareto frontu.



Slika 42. Izračun udaljenosti između pojedinih rješenja na jednom Pareto frontu

Rubnim vrijednostima fronta uvijek se dodjeljuje beskonačna vrijednost kako bi imali prednost tijekom procesa rangiranja u odnosu na rješenja koja dolaze iz gušćeg dijela Pareto

fronta. Za ostala rješenja izračunava se udaljenost na način kako je prikazano na Slici 42. f1 i f2 na Slici 42. predstavljaju atribute dok se isti princip može primijeniti i u prostoru projektnih varijabli. Rješenja s većom udaljenošću imaju prednost u odnosu na rješenja s manjom udaljenošću, kako bi tijekom procesa rangiranja došli na poziciju s boljim rangom, a u konačnici ostali u skupu preferiranih rješenja u Pareto frontu nedominiranih rješenja. U tu svrhu uvodi se „operator usporedbe rješenja temeljem udaljenosti“ $(\prec_n)$ koji vodi proces odabira u različitim fazama algoritma prema skupu Pareto nedominiranih rješenja jednoliko raspoređenih na cijeloj Pareto krivulji. Tijekom procesa rangiranja rješenja svako rješenje ima dvije pripadajuće značajke: Pareto rang (i_{rang}) i udaljenost (i_{udalj}). „Operator usporedbe rješenja temeljem udaljenosti“ je:

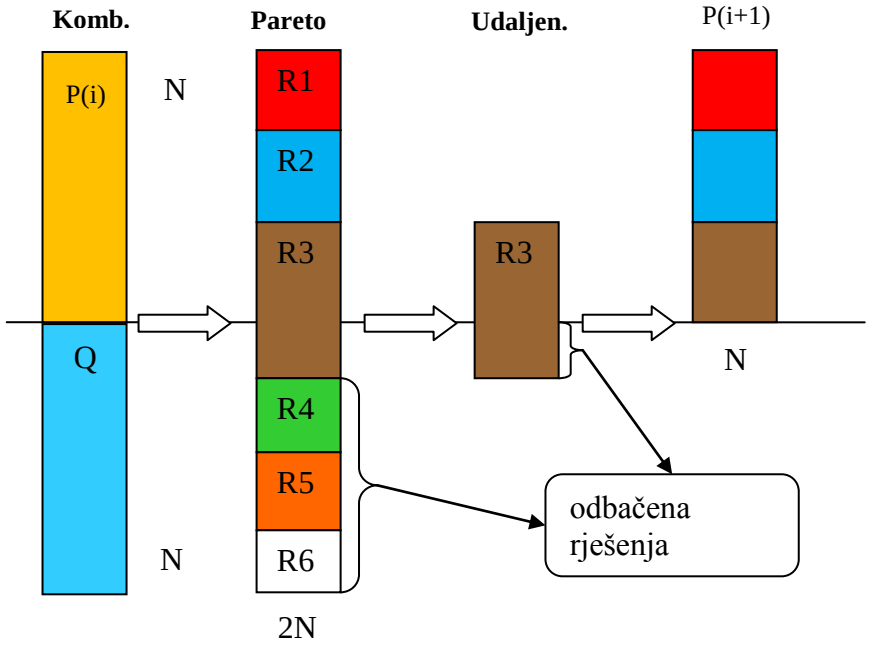
$$i \prec_n j \text{ ako je } (i_{rang} \prec j_{rang}) \tag{394}$$

ili

$$((i_{rang} = j_{rang}) \wedge (i_{udalj} \succ j_{udalj}) \tag{395}$$

Između dva rješenja sa različitim Pareto rangovima preferira se bolje rješenje tj. ono s manjim rangom. U slučaju kad oba rješenja pripadaju istom rangu, preferira se rješenje s većom udaljenošću.

Nakon toga slijedi formiranje „dječje“ Q populacije primjenom turnirskog odabira, križanja i mutacije veličine N. U cilju održavanja svojstva elitizma tj. pamćenja najboljih rješenja populacija P i Q se kombiniraju u novu populaciju PuQ veličine 2N. Populacija PuQ se sortira prema svojstvu nedominacije, elitizam je osiguran jer nova kombinirana populacija sadrži najbolja rješenja iz P i Q. Nakon toga vrši se odabir N rješenja u cilju dobivanja nove populacije P na način da se u nju izuzmu sva nedominirana rješenja iz PuQ. Ako je broj nedominiranih rješenja manji od N, onda se nedominiranim rješenjima dodaju rješenja iz ostalih frontova koji slijede. U slučaju kada N siječe jedan front rješenja iz tog fronta se odabira potreban broj rješenja primjenom „operatora usporedbe rješenja temeljem udaljenosti“ kako je gore opisano. Front koji siječe N se sortira po padajućem redoslijedu temeljem udaljenosti te se odabere potreban broj rješenja po redoslijedu kako bi se dobila nova „dječja“ populacija veličine N. Algoritam koji ilustrira navedeni proces prikazan je na Slici 43.



Slika 43. Ilustracija NSGA-II algoritma

Nakon određenog broja iteracija ovaj algoritam završava dobivanjem Pareto skupa rješenja koja su dobro distribuirana na Pareto krivulji zahvaljujući operatoru usporedbe temeljem udaljenosti. Za navedenu metodu izrađen je program koji je testiran na standardnim test funkcijama iz [46], a rezultati su prikazani u podpoglavlju 4.2.3.

4.2.2 Višekriterijska optimizacija: PP-NRGA algoritam

Optimizacija primjenom metode „Parameterless Penalty Non-Dominated Ranked Genetic Algorithm – PP-NRGA“ prikazana je u radovima [51] i [52]. Ova metoda je slična NSGA-II metodi a razlikuje se u sljedećim segmentima: rangiranju rješenja i odabiru koji se temelji na tzv. ruletu temeljenom na rangovima. Cilj ove metode je bio izbjeći penalizaciju neizvodivih rješenja kako ne bi bila opterećena s dodatnim parametrima što sugerira i samo ime metode. To se postiže uvođenjem funkcije cilja u slijedećem obliku:

$$\varphi_i(x) = f_i(x) + rang\ f_i + rang\ g \sum_{j=1}^{m} \theta(x) \ [-] \qquad (396)$$

gdje je $i = 1,2,...,k,$ $rang\ f_i$ je rang funkcije atributa koji može imati vrijednosti [1 – veličina populacije]. $Rang\ g$ je rang sume prekoračenja ograničenja svakog rješenja koji može imati vrijednosti [veličina populacije+1 – 2*veličina populacije]. Iz navedenog slijedi da rješenja s minimalnim vrijednostima funkcije cilja i najmanjim prekoračenjem ograničenja teže prema

najboljim vrijednostima funkcije cilja. Na navedeni način izbjegava se klasična penalizacija funkcije cilja a uvedeni parametri u funkciji cilja automatizmom adekvatno podešavaju vrijednosti funkcije cilja uzimajući u obzir prekoračenja ograničenja te sukladno tome vrše rangiranje rješenja. Druga značajna razlika u odnosu na NSGA-II je u odabiru jer ova metoda koristi rulet odabir temeljen na prethodno određenim rangovima. Svakom rješenju populacije dodjeljuje se vrijednost fitnesa jednaka njegovom rangu u populaciji, veći rang ujedno znači i veću vjerojatnost preživljavanja u procesu odabira u slučaju maksimizacije i obrnuto kod minimizacije. Vjerojatnost preživljavanja izračunava se prema slijedećem izrazu:

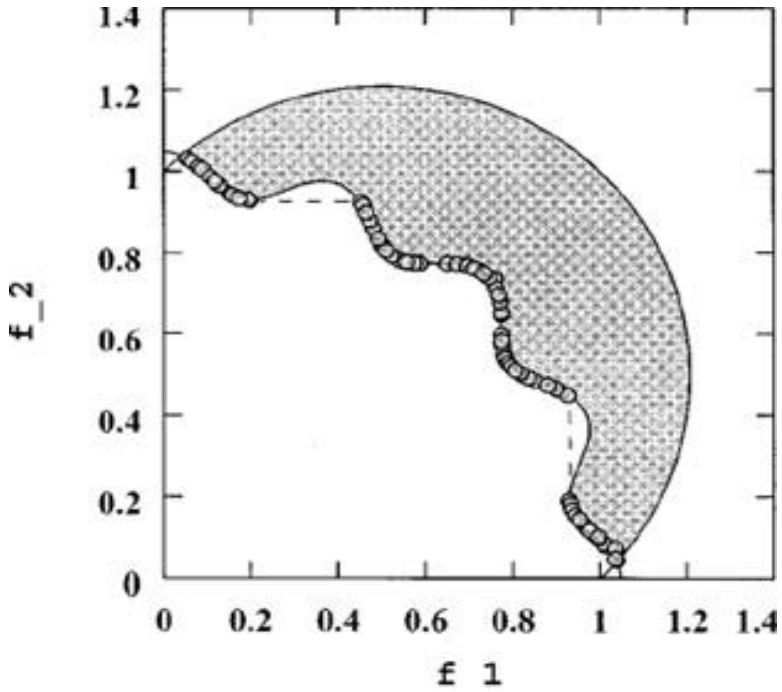
$$P_i = \frac{2\ Rang}{N\ (N+1)} \quad [-] \tag{397}$$

gdje je N broj rješenja u frontu kada se radi o rješenjima, a broj frontova kada se radi o frontovima. Rješenja u frontu su rangirana temeljem udaljenosti koja je objašnjena u 5.2.1, dok su frontovi rangirani temeljem svojstva nedominacije primjenom Pareto metode. Za navedenu metodu izrađen je program koji je testiran na standardnim testnim funkcijama iz [46], a rezultati su prikazani u podpoglavlju 4.2.3.

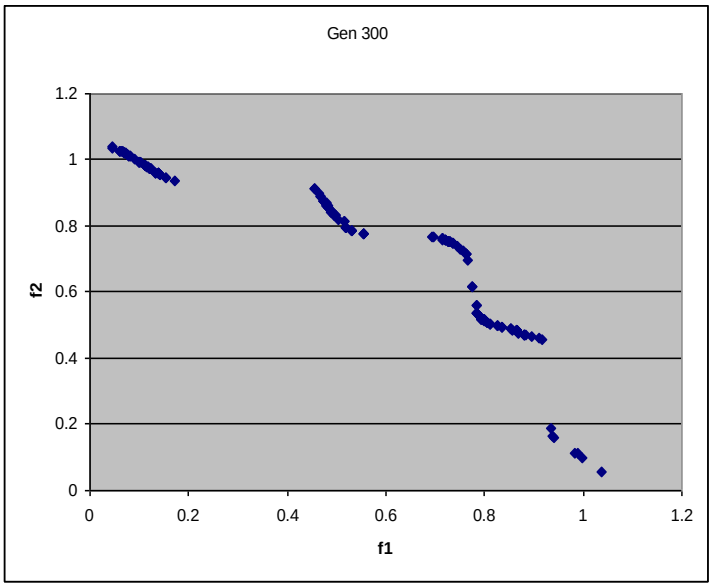
4.2.3 Usporedba metoda i odabir povoljnije

U ovom podpoglavlju su prikazani rezultati dviju prethodno opisanih metoda, te je odabrana preferirana metoda. Obje metode su testirane na standardnim test funkcijama iz [46], a one su dovoljno zahtjevne da bi provjerile izvedbu algoritama optimizacije za obje metode. Testne funkcije s pripadnim ograničenjima su kompleksne, prekidaju projektni prostor na dijelove koji su izvedivi i neizvedivi što na neki način simulira njihovu primjenu za uvjete predmetnog projektnog prostora i ograničenja projektnog modela kojim se bavi ovaj rad. Pretpostavka je da ukoliko zadovolje na ovim testnim funkcijama metode će zadovoljiti i potrebe višekriterijskog projektnog modela višenamjenskog ratnog broda. Na Slici 44. prikazana je testna funkcija TNK iz [40]. Na Slici 45. i 46. prikazani su rezultati testova PP-NRGA i NSGA-II metoda na testnoj funkciji TNK. Na Slici 47. prikazana je testna funkcija CPT1 iz [40]. Na Slici 48. i 49. prikazani su rezultati testova PP-NRGA i NSGA-II metoda na testnoj funkciji CPT1. Rezultati ostalih testnih funkcija nalaze se u Prilogu 5. Svi testovi su izvedeni na populaciji od 200 jedinki, rezultati su stabilni jer je dobiven približno isti Pareto front nakon više ponavljanja, rješenje konvergira prema idealnom poznatom Pareto frontu kao što se može vidjeti na 45. i 46. Konačni Pareto front koji je prikazan na slikama je uzet nakon 300 generacija. Usporedbom rezultata može se zaključiti da metoda NSGA-II ima bolje

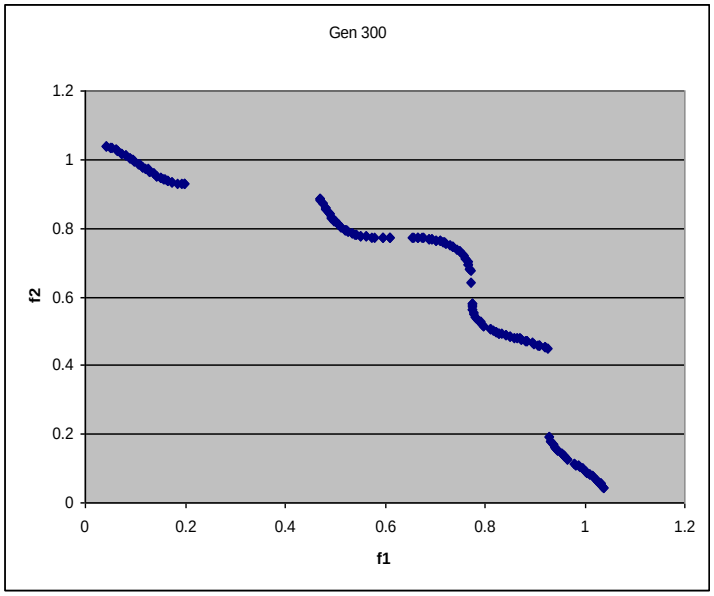
distribuirana rješenja po Pareto krivulji od PP-NRGA, dok je PP-NRGA bila nešto brža tijekom izvođenja programa na računalu za isti broj generacija. Unatoč tome što se PP-NRGA pokazala kao brža metoda, za primjenu na konceptualnom projektnom modelu višenamjenskog ratnog broda odabrana je metoda NSGA-II. NSGA-II u odnosu na PP-NRGA metodu ima bolju distribuciju projektnih rješenja po Pareto krivulji, dok vrijeme rada računala u ovom slučaju nije bilo najvažnije.



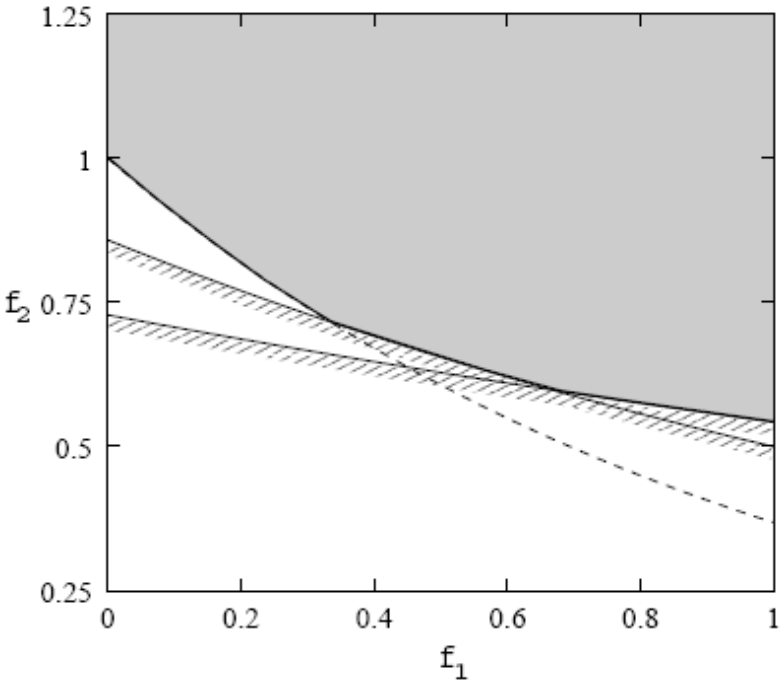
Slika 44. Testna funkcija TNK iz [40]



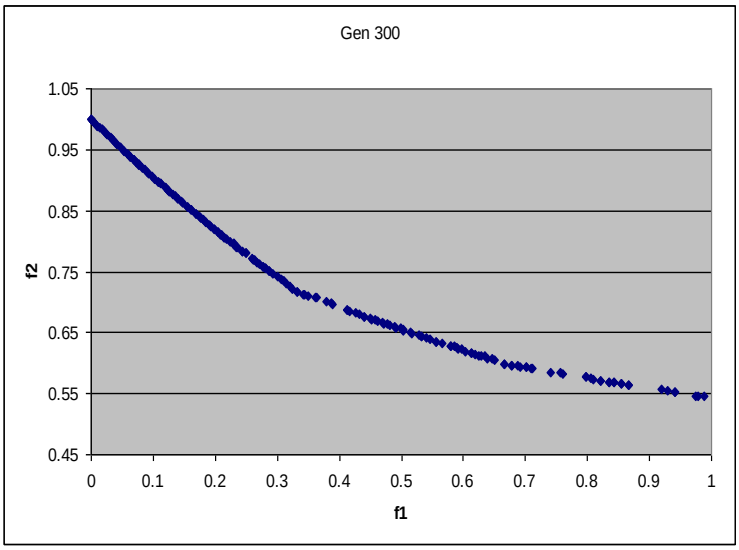
Slika 45. Test PP-NRGA metode na testnoj funkciji TNK iz [40]



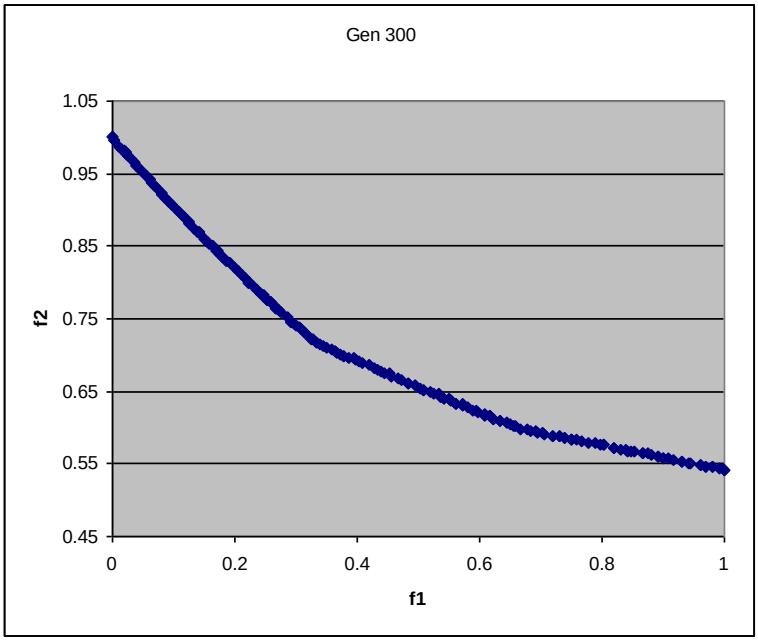
Slika 46. Test NSGA-II metode na testnoj funkciji TNK iz [40]



Slika 47. Testna funkcija CTP1 iz [40]



Slika 48. Test PP-NRGA metode na testnoj funkciji CTP1 iz [40]



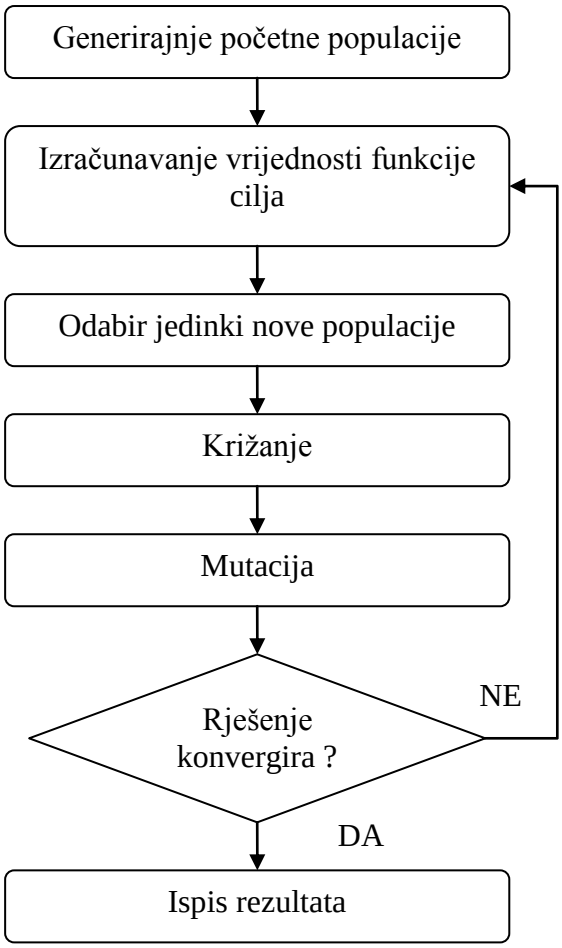
Slika 49. Test NSGA-II metode na testnoj funkciji CTP1 iz [40]

4.3 Općenito o genetičkom algoritmu

Genetički algoritam (GA) spada u skupinu tzv. evolucijskih algoritama traženja optimuma, a temelji se na teoriji evolucije preživljavanja najprilagodljivijih. Primjenom GA se simulira proces evolucije u prirodi. Jedna od temeljnih razlika u odnosu na klasične metode optimizacije je što GA koristi populaciju rješenja (više projektnih rješenja) u jednoj iteraciji dok klasične metode koriste samo jedno tj. „point by point“ pristup. GA sukladno [41] se može matematički opisati na sljedeći način:

$$x(t+1) = s\left\{v\left[x(t)\right]\right\} \tag{398}$$

gdje je populacija u trenutku t opisana s $x(t)$, na njoj se provodi operator slučajne varijacije v i odabira s kako bi se dobila nova populacija $x(t+1)$. Iz generacije u generaciju populacija rješenja se mijenja u skladu s postavljenim pravilima genetičkih operatora kao što su odabir (selekcija), križanje i mutacija. Pretpostavka je da primjenom genetičkih operatora svaka sljedeća populacija ima bolja svojstva u odnosu na prethodnu. Taj proces poboljšavanja željenih svojstava populacije se nastavlja dok ne konvergira tj. pronađu se dvije sukcesivne populacije koje se neznatno razlikuju, a ta razlika je prethodno definirana. Teoretski dokazi o tome zašto su evolucijski algoritmi učinkoviti u traženju globalnog optimuma prikazani su u [9]. Najosnovnija konstrukcija genetičkog algoritma prikazana je na Slici 50.



Slika 50. Osnovna konstrukcija genetičkog algoritma

Jedinke unutar populacije predstavljaju projektna rješenja, a u literaturi se nazivaju kromosomi. Generiranje početne populacije je slučajno, a njena kvaliteta u prosjeku je ovisna i o broju kromosoma. Što je broj kromosoma veći, veća je i vjerojatnost da unutar njih postoje i oni s velikom vrijednošću funkcija cilja, stoga će proces traženja optimalnog rješenja biti kraći. Odabir jedinki koje će sudjelovati u formiranju nove generacije temelji se na njihovim vrijednostima funkcija cilja tj. jedinke koje imaju veće vrijednosti funkcija cilja imaju i veću vjerojatnost preživljavanja i prenošenja svog genetskog materijala u slijedeću generaciju. Kada se temeljem vrijednosti funkcija cilja izvrši rangiranje i dodjela vjerojatnosti preživljavanja primjenjuju se genetički operatori. Najprije se vrši odabir jedinki nove populacije. One jedinke koje imaju veću vjerojatnost preživljavanja imaju i kroz opretor odabira veću mogućnost sudjelovanja u kreiranju nove generacije, a mogu se pojaviti i više puta u odabranoj skupini. Nakon što se odaberu jedinke za novu generaciju vrši se njihovo križanje tj. od dvije jedinke (roditelji) stvaraju se nove dvije jedinke (djeca) koje dobivaju genetski materijal od oba roditelja. Od odabranih jedinki samo jedan dio sudjeluje u križanju

što se definira vjerojatnošću križanja koja se obično kreće u rasponu od 0.6 do 0.9, ovisno o konkretnom optimizacijskom problemu. Na kraju vrši se mutacija dječje populacije čime se završava proces stvaranja nove generacije. Mutaciji se podvrgava vrlo mali broj dječje populacije kako bi se što bolje simulirali evolucijski procesi u prirodi, a vjerojatnost mutacije kreće se u granicama od 0.05 do 0.25. Dječja populacija se uspoređuje s roditeljskom i ukoliko je razlika neznatna proces se zaustavlja i zadnja generacija se uzima kao rješenje, dok u drugim slučajevima može se postaviti određeni konačan broj iteracija procesa te se on zaustavlja po izvršenju zadnje iteracije. Jedna od važnijih principa u GA je postizanje ravnoteže između pretraživanja cijelog projektnog prostora u odnosu na iskorištavanje najboljih jedinki kako se ne bi dogodilo da algoritam završi pretraživanje u lokalnom umjesto globalnom optimumu. U literaturi to se naziva konflikt iskorištavanja naprama istraživanju („exploitation and exploration conflict“), a način na koji se vrši ravnoteža je prikazan u podpoglavlju 4.4.1. O ovom algoritmu može se uvesti i princip elitizma koji podrazumijeva da se najbolja rješenja iz trenutne generacije obavezno prenose u slijedeću generaciju kako se ne bi izgubio genetski materijal koji ima najbolja svojstva sukladno funkcijama cilja. S obzirom da je algoritam probabilistički mora se provesti nekoliko puta i odabrati najbolje rješenje. Pojedini genetički operatori su detaljno obrađeni u podpoglavljima koja slijede.

4.4 Operatori genetičkog algoritma

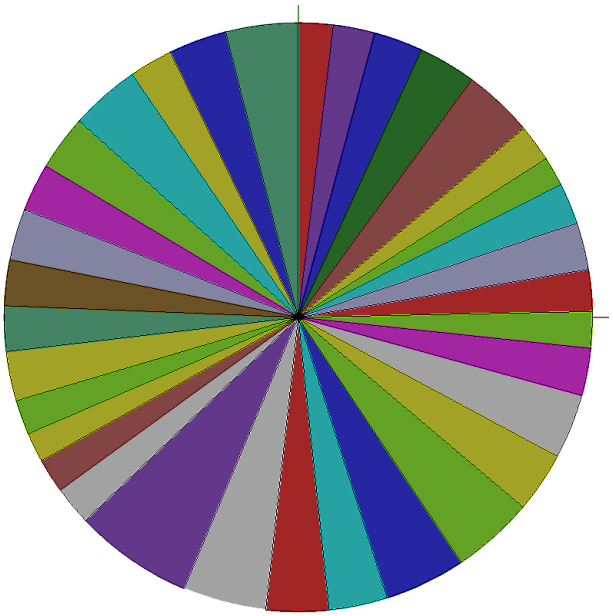
4.4.1 Odabir

Odabir kromosoma za formiranje nove generacije temelji se na njihovoj vrijednostima funkcija cilja. Krosomi s većom vrijednošću funkcija cilja imaju veću vjerojatnost preživljavanja i obrnuto. Najosnovniji način odabira u literaturi se naziva klasičan odabir i temelji se na tzv. odabiru primjenom ruleta što znači da je odabir probabilističke naravi. Rulet je podijeljen na onoliko dijelova koliko ima članova populacije, dok je veličina (površina) dijela ruleta koji pripada pojedinom kromosomu proporcionalna njegovoj vjerojatnosti preživljavanja:

$$P_i = \frac{Fitness(x_i)}{\sum_{i=1}^{vel_pop} Fitness(x_i)} \quad [-] \qquad (399)$$

Vjerojatnost da će se rulet zaustaviti na dijelu površine određenog kromosoma je to veća što je veća pripadna površina, što znači da kromosom s najvećom površinom ima najveću vjerojatnost preživljavanja, dok onaj s najmanjom ima najmanju. Simulacija rotiranja ruleta vrši se pomoću algoritma primjenom kumulativne vjerojatnosti, svaki krosom dobiva jedan

segment na brojevnom pravcu koji ide od nula do jedan. Generira se slučajan broj između nula i jedan koji se zatim uspoređuje s kumulativnom vjerojatnošću kromosoma. Kada se slučajno generirani broj poklopi sa segmentom kumulativne vjerojatnosti kromosoma taj kromosom se odabire za sudjelovanje u generiranju nove generacije. Primjer ruleta s pripadnim površinama kromosoma prikazan je na Slici 51.



Slika 51. Rulet s pripadnim površinama kromosoma

Kromosomi s većom vrijednošću funkcije cilja imaju veću vjerojatnost preživljavanja, ali i mogućnost višestrukog pojavljivanja u odabranim jedinkama za generiranje nove populacije.

Glavni nedostatak klasičnog odabira je što tijekom iterativnog procesa generiranja novih generacija ne dolazi do konvergencije, već se pretraživanje događa slučajno bez ciljanog istraživanja područja projektnog prostora oko najboljih kromosoma. Umjesto iskorištavanja obećavajućeg genetskog materijala najboljih jedinki, algoritam kontinuirano vrši slučajno pretraživanje projektnog prostora. U ovom slučaju čak se događa da su lošiji kromosomi odabrani više puta od boljih kromosoma iz čega proizlazi neadekvatnost algoritma kako je to podrobnije opisano u [9]. Algoritam mora razlikovati bolje kromosome od lošijih te sukladno tome vršiti i njihov odabir. To se može postići na više načina, a jedan od njih je provedbom sortiranja kromosoma padajućim redoslijedom u skladu s njihovom vrijednošću funkcije cilja, te dodjeljivanjem svakom od njih vjerojatnosti preživljavanja temeljem položaja kromosoma u nizu. Proces odabira se temelji na prethodno opisanom rangiranju kromosoma, dok se funkcija vjerojatnosti za taj slučaj može prikazati kao geometrijski niz:

$$P_i = A_1 \cdot P_S^{i-1} \qquad [-] \qquad (400)$$

gdje se indeks i kreće u rasponu od 1 do veličine populacije, A_1 je konstanta, a P_S je kvocijent niza. Konstanta A_1 definira se kao:

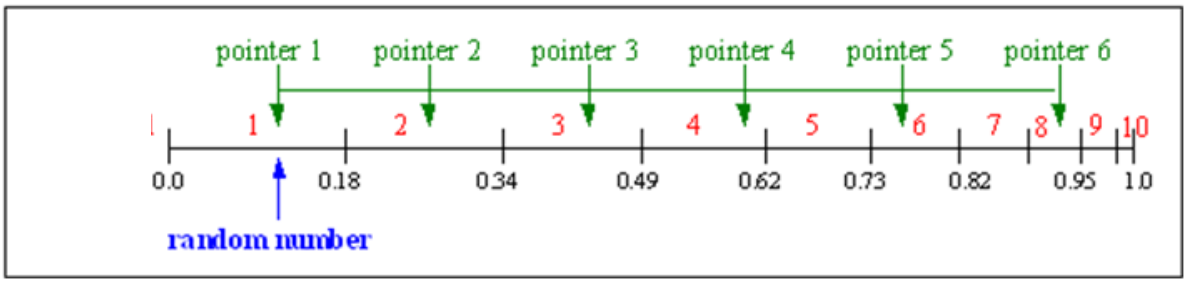
$$A_1 = \frac{1 - P_S}{1 - P_S^{vel_pop}} \quad [-] \tag{401}$$

gdje P_S predstavlja tzv. „tlak odabira“ koji se može kretati u rasponu od 0 do 1. Kada je $P_S = 1$ niz ne postoji, sve jedinke dobivaju istu vjerojatnost preživljavanja, a proces odabira je potpuno slučajan. Kad je P_S bliži nuli odabir je elitistički, dok kad teži prema jedinici odabir je slučajan. P_S se obično kreće u rasponu od 0.75 do 0.98, a njegova konačna vrijednost se utvrđuje eksperimentiranjem, tj. zadavanjem različitih vrijednosti dok se ne utvrdi koja od njih daje najbolje rezultate. Pojednostavljeno rečeno opisani način poboljšanja procesa odabira proporcionalno povećava vjerojatnosti preživljavanja boljih kromosoma dok proporcionalno smanjuje vjerojatnosti preživljavanja lošijih kromosoma, ovisno o koeficijentu P_S. U cilju daljnjeg poboljšanja procesa odabira kromosoma uvodi se promjenjivi koeficijent P_S. U razvoju početnih generacija potrebno je što više fokusirati se na istraživanje cijelog projektnog prostora, dok u završnim generacijama na istraživanje projektnog prostora oko najboljih rješenja. Na ovaj način se izbjegava mogućnost prerane konvergencije u lokalni optimum umjesto u globalni. Istraživanje („exploration“) cijelog projektnog prostora postiže se sa vrijednostima koeficijenta P_S koja su bliža jedinici dok se iskorištavanje („exploatation“) obećavajućeg područja dobiva sa manjim vrijednostima P_S. Primjer izraza za promjenjivi P_S iz [9]:

$$P_S = -0.06 \frac{gen}{gen_\max} + 0.98 \ [-] \tag{402}$$

gdje je gen trenutna generacija a gen_max maksimalan broj generacija. Kod odabira kromosoma za generiranje nove populacije ne smiju se zanemariti ni oni lošiji kromosomi koji imaju male vrijednosti funkcija cilja. Ta područja projektnog prostora u nekim slučajevima mogu biti od velike važnosti kako bi se održao kontakt sa pojedinim izvedivim područjima projektnog prostora. Ukoliko se lošiji kromosomi u početku procesa zanemare to bi moglo voditi prema preranoj konvergenciji u lokalni optimum. U cilju sprječavanja takvih pojava Baker u [41] je razvio novu stohastički univerzalni odabir koji uzima u obzir genetički materijal cijele populacije tj. ne zanemaruje ni ona loša rješenja. Algoritam se temelji na ruletu koji se vrti samo jednom, ima površine proporcionalne vjerojatnosti preživljavanja, dok se odabir vrši na

način da se na brojevni pravac s kumulativnim vjerojatnostima projiciraju markeri na jednakim razmacima a čiji broj je jednak veličini populacije. Dakle, svaki marker označava odabrani kormosom, a oni s većom vjerojatnošću mogu biti odabrani i više puta, dok u svakom slučaju algoritam odabira i određeni broj loših kromosoma što je i bila intencija. Bakerov odabir je ilustriran na Slici 52. koja je preuzeta iz [42]. Početak prvog markera određuje slučajno generirani broj u prvoj kumulativnoj vjerojatnosti preživljavanja.



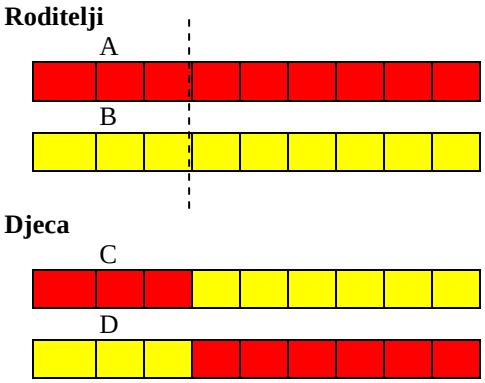
Slika 52. Ilustracija Bakerovog odabira [42]

Prijevod pojmova:

- pointer – pokazivač
- random number – slučajni broj

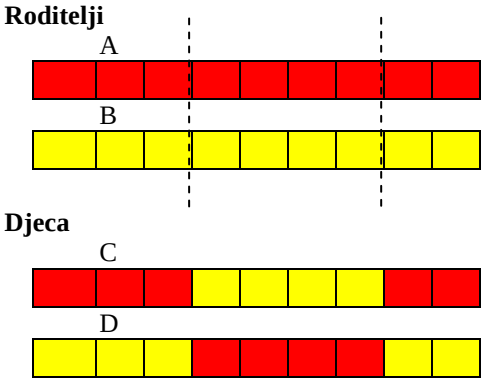
4.4.2 Križanje

Križanjem se prenosi genetski materijal s roditeljske populacije na dječju od odabranih kromosoma kako je objašnjeno u prethodnom podpoglavlju. Križanje se obavlja na način da dva slučajno odabrana kromosoma postaju roditelji, te od njih nastaju nova dva kromosoma (djeca) razmjenom njihovog genetskog materijala. Nove jedinke (djeca) nasljeđuju genetska svojstva svojih roditelja, te mogu biti slični njima ili potpuno drugačiji, te njihove vrijednosti funkcija cilja mogu biti lošije ili bolje od roditeljskih. Odluka o tome hoće li doći do križanja dva kromosoma ovisi o vjerojatnosti križanja koja je obično u rasponu od 0.65 do 0.85. To znači da će u prosjeku 65% do 85% parova kromosoma se križati. Križanjem se razmjenjuju geni dva kromosoma a ilustracija križanja prikazana je na Slici 53.



Slika 53. Ilustracija križanja dva kromosoma

Kromosom C naslijedio je od roditelja A prva tri gena, a od roditelja B zadnjih šest gena. Kromosom D naslijedio je od roditelja B prva tri gena, a od roditelja A zadnjih šest gena. Mjesto na kojem se križaju kromosomi može se odrediti generiranjem slučajnog broja između nula i jedan, te njegovim zaokruživanjem na cjelobrojnu vrijednost. Križanje kromosoma može se provest presijecanjem kromosoma na više od jednog mjesta kako je prikazano na Slici 54.



Slika 54. Ilustracija križanja dva kromosoma s dva presjecišta

U konkretnom problemu višekriterijske optimizacije broda kromosomi predstavljaju projektna rješenja dok su geni projektne varijable.

4.4.3 Mutacija

Nakon križanja mutacijom se slučajno mijenja kromosom i time završava proces kreiranja nove generacije. Mutacija zahvaća vrlo mali broj kromosoma, a to se definira s faktorom vjerojatnosti mutacije koji se obično kreće u rasponu od 0.05 do maksimalno 0.25. Mutacija se provodi na način da se generira slučajni broj od 0 do 1. Ako je broj manji od postavljene vjerojatnosti mutacije dolazi do mutacije kromosoma, a u suprotnom kromosom ostaje

nepromijenjen. Kad dolazi do mutacije kromosoma, mutiraju pojedini geni što se može odrediti slučajno generiranjem slučajnog broja. Npr. kad je on manji od 0.5 dolazi do mutacije gena, a u suprotnom gen ostaje nepromijenjen. Kad gen mutira, stari gen se briše dok se određuje novi gen u rasponu kako je definirano njegovim granicama. Kromosom može biti reprezentiran na dva načina: u binarnom obliku i u obliku varijabli s realnim vrijednostima. Binarni oblik je prikladan za probleme s cjelobrojnim varijablama dok kod varijabli s realnim vrijednostima one ujedno predstavljaju gene kromosoma. Kao i kod odabira i mutacijom se može utjecat na način istraživanje projektnog prostora kroz istraživanje ili eksploataciju preko vjerojatnosti mutacije. Kada je vjerojatnost mutacije veća fokus je na istraživanju projektnog prostora, dok kod manjih vjerojatnosti mutacije proces je usmjeren na istraživanje prostora oko najboljih kromosoma. Također u mutaciji se može utjecat na njen intenzitet tj. u kojoj mjeri je mutirani gen blizu ili daleko od starog gena. U početnim generacijama može se dozvoliti dobivanje mutiranih gena koji su na većim udaljenostima od svojih prethodnika, dok kako se proces završava taj intenzitet mutacije treba biti sve manji i manji kako bi se na taj način dobili mutirani geni u blizini svojih prethodnika. Na taj način može se doći do novih kromosoma sa boljim svojstvima tj. do boljeg genetskog materijala. Iz navedenog slijedi da intenzitet mutiranja mora biti sve manji i manji što se povećava broj generacija, a primjer promjenjivog mutacijskog operatora iz [9] je:

$$x_i^m = x_i + \Delta(gen, b_i - x_i) \text{ [-]} \tag{403}$$

$$x_i^m = x_i - \Delta(gen, x_i - a_i) \text{ [-]} \tag{404}$$

gdje je $[a_i, b_i]$ interval tj. granice gena,

$$\Delta(gen, x) = x\left[1 - r^{1-\frac{gen}{gen_\max}}\right]^b \quad \text{[-]} \tag{405}$$

$_{gen}$ je broj generacija, $_{gen_max}$ je maksimalan broj generacija, r je slučajno generirani broj iz intervala od 0 do 1, a b je parametar koji određuje stupanj nejednolikosti. Jednadžba (403) se primjenjuje za dobivanje mutacija s većim intenzitetom, dok (404) je za mutacije manjeg intenziteta. Iz navedenog izraza je vidljivo da kako proces napreduje mogućnost velikih promjena tijekom mutacije su sve manja i manja.

5. TESTIRANJE IZLAZNIH REZULTATA PROJEKTNOG MODELA

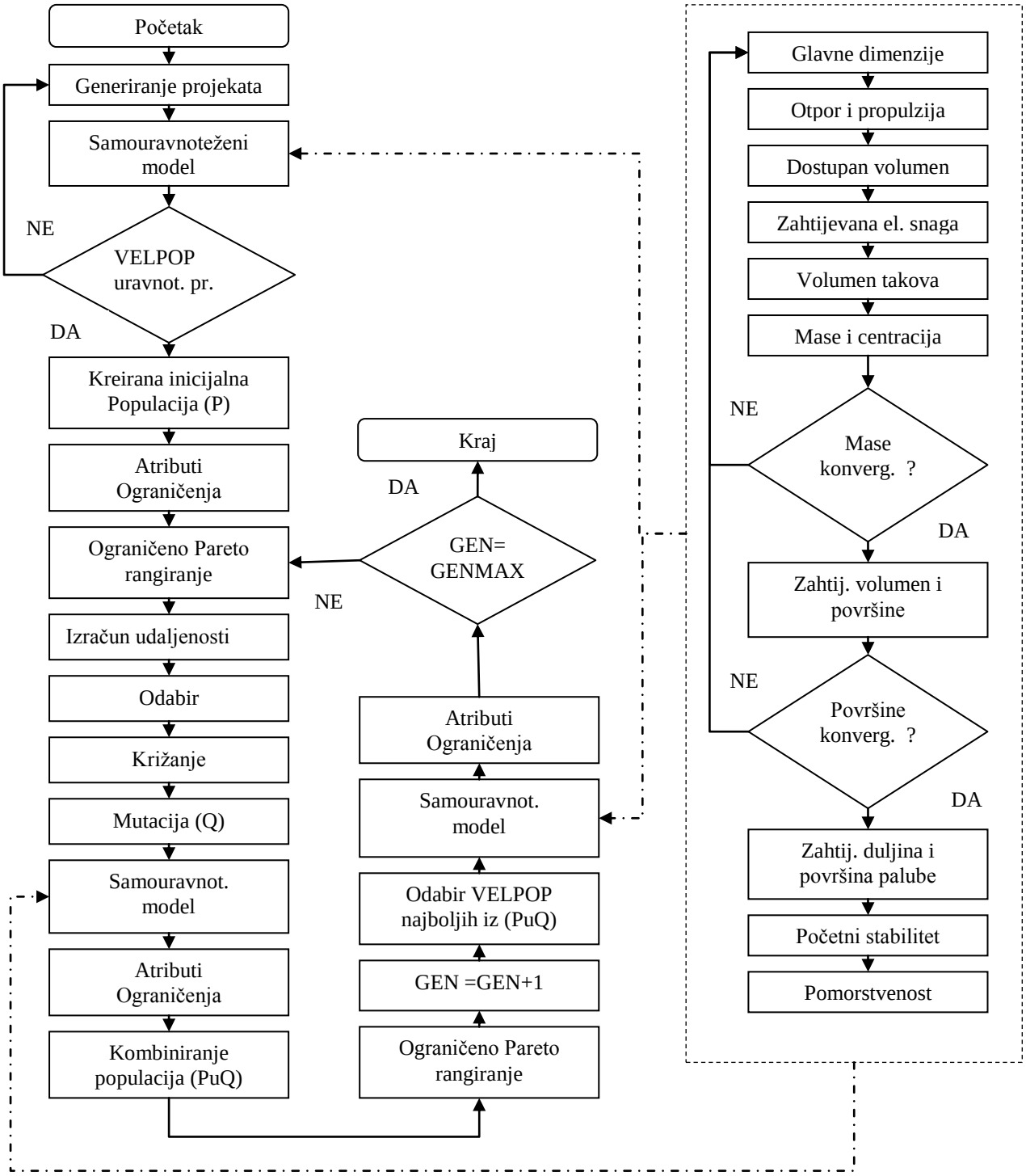
5.1 Integracija višekriterijskog projektnog modela s metodom optimizacije

Nakon definiranja višekriterijskog konceptualnog projektnog modela u poglavlju 3 i optimizacijske metode u poglavlju 4, u ovom dijelu rada obrađuje se integracija projektnog modela s primijenjenom metodom te testiranje izlaznih rezultata modela.

I jedan i drugi dio su jednako važne komponente i predstavljaju jedan kombinirani model koji ima za cilj traženje preferiranih projektnih rješenja. Dijagram toka integracije projektnog modela i primijenjene metode prikazan je na Slici 55. Generiranje projekata vrši se slučajnim odabirom projektnih varijabli. Projektne varijable brodske forme su realne varijable koje se nalaze u granicama kako je definirano u poglavlju 3. Granice projektnih varijabli brodske forme su dovoljno „široke“ za ovaj tip broda, te omogućuju kreiranje različitih brodskih formi kako bi se došlo do niza projektnih rješenja tj. populacije. Ostale ulazne varijable su diskretne, a o njihovoj vrijednosti ovisi opcija odabranog materijala trupa i nadgrađa, autonomnosti, doplova, naoružanja, te opreme vezano za svojstvo preživljavanja broda. Nakon generiranja projekta on se pokušava uravnotežiti s obzirom na mase, te dostupne i zahtijevane površine / volumene. Projekti koji se ne mogu uravnotežiti po masi ili površinama se odbacuju, a cilj je dobivanje inicijalne populacije *P* od *VELPOP* uravnoteženih projekata. Nakon što je kreirana inicijalna populacija uravnoteženih projekata *P* vrši se proračun atributa i ograničenja svih projekata populacije. Zatim se projekti rangiraju u Pareto frontove gdje 0-ti front predstavlja nedominirana rješenja, nakon čega dolaze projekti iz fronta 1, 2, itd. Izračun udaljenosti između projekata pojedinih Pareto frontova vrši se u prostoru atributa. Za prvi odabir dječje populacije *Q* primjenjuje se turnirski odabir. Iz inicijalne populacije slučajnim odabirom određuju se dvije jedinke od kojih se jedna odbire za dobivanje skupa jedinki od kojih će primjenom genetičkih operatora nastati *Q* dječja populacija. Kada su obje jedinke izvodive odabira se ona s manjim Pareto rangom, kada su obje jedinke iz istog ranga odabira se ona sa većom udaljenošću. Kada je jedna jedinka izvodiva a druga nije, odabira se ona koja je izvodiva, a kada su obje jedinke neizvodive bira se ona sa manjim odstupanjem od ograničenja. Nakon odabira križa se u prosjeku 80% odabranih projekata, dok se 10% mutira kako je objašnjeno u poglavlju 4. Na taj način se završava s kreiranjem dječje *Q* populacije. Za *Q* populaciju vrši se proračun samouravnoteženosti projekata, te svih pripadnih parametara broda. Jedan manji dio *Q* populacije, nakon primjene genetičkih operatora nije

više uravnotežen. Takvim projektima se „umjetno“ dodjeljuju maksimalna ograničenja što ih rangira na začelje svih projekata, te oni iščezavaju tijekom provođenja algoritma.

Sljedeći korak u projektnom modelu je kombiniranje populacija *P* i *Q*, te dobivanje dvostruko veće nove *PuQ* populacije. Ovaj korak je potreban zbog postizanja svojstva elitizma tj. zadržavanja najboljih rješenja. Populacija *PuQ* se rangira primjenom Pareto metode u ograničenim uvjetima, te se iz nje formira nova roditeljska populacija *P* kako je to opisano u poglavlju 4. Projekti nove *P* populacije se provjeravaju u samouravnoteženom modelu, provodi se Pareto rangiranje, te se računaju udaljenosti za sve Pareto frontove. Primjenom turnirskog odabira, križanja i mutacije dobiva se nova dječja *Q* populacija. Populacije *P* i *Q* se kombiniraju u novu *PuQ* populaciju, te se taj proces iterativno nastavlja sve dok se ne postigne zadani broj generacija.

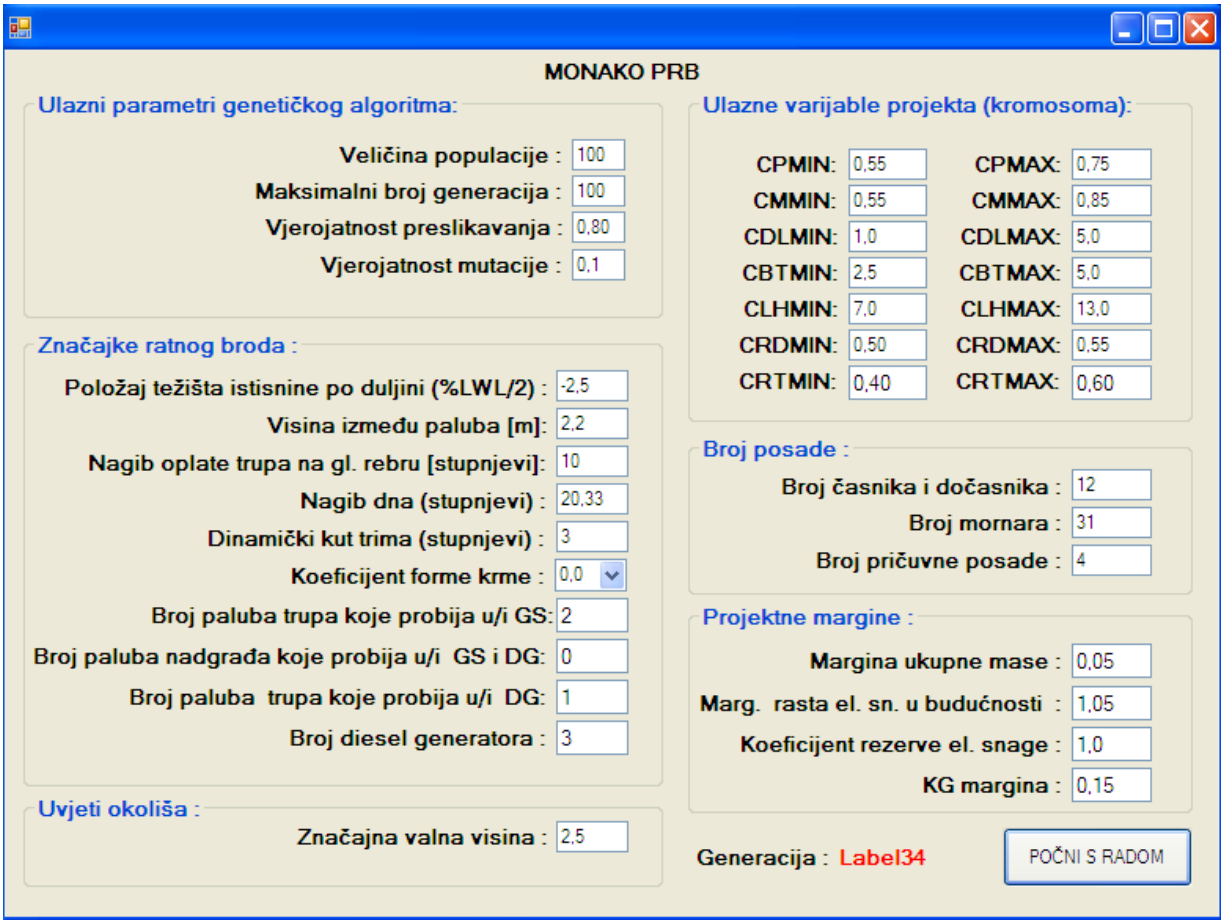


Slika 55. Dijagram toka integracije projektnog modela i primijenjene metode

5.2 Opis programa višekriterijske optimizacije

Temeljem dijagrama toka sa Slike 55. napravljen je softverski program Monako PRB kojim se rješava problem višekriterijske optimizacije predmetnog projektnog modela. Glavni program se sastoji od 39 podmodula, ukupno uključujući komentare ima 5122 linija koda, te 163.84 kB. Program je napisan u MS Visual Sudio, Visual Basic. Navedeni programski jezik je odabran zbog toga što je jednostavan, a pretpostavljeno je da u kodu neće biti složenih algoritama kao što su npr. algoritmi za rješavanje velikog sustava linearnih jednadžbi koji zahtijevaju puno memorije i možda prikladnije programske alate. U Visual Basicu bilo je jednostavno izraditi formu ulaznih podataka koja je prikazana na Slici 56. Ostali ulazni podaci koji se odnose na značajke pojedine opreme i naoružanja kao što je masa, položaj težišta po visini, zahtijevana tlocrtna površina, potrebna električna snaga, te cijene se nalaze u podmodulu ulaznih podataka strukturirani u obliku baze podataka. Pojedine vrijednosti iz baze podataka se pozivaju kod izračuna površine, potrebne električne snage, mase i centracije, cijene, te ostalih značajki projekta. Program je strukturiran u obliku optimizacijske ljuske koja primjenjuje metodu NSGA-II koja poziva samouravnoteženi dio modela kako je prikazano na Slici 55. Kako bi program bio što pouzdaniji svi podmoduli su testirani zasebno, te nakon njihove integracije u cijeli program.

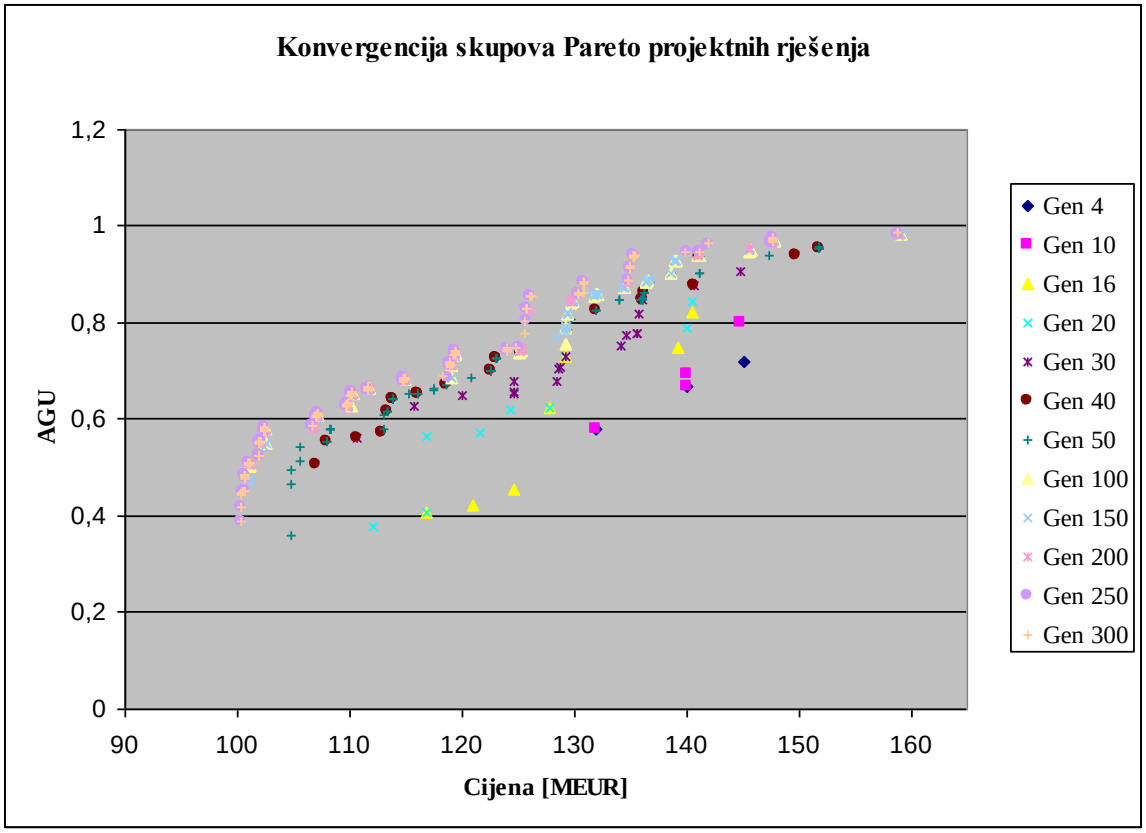
Koliko god bio zahtjevan samouravnoteženi dio modela koji rješava brodograđevni dio problema, jednako zahtjevan a možda i više, bio je optimizacijski dio gdje je uspješno primijenjena NSGA-II metoda te primjena Pareto metode za višekriterijsku optimizaciju. NSGA-II metoda je inicijalno testirana na testnim funkcijama kako je opisano u poglavlju 4, dok je dio koji rješava Pareto rangiranje također testiran. Izlazni rezultati programa za svaki projekt svih generacija daju podatke o projektnim varijablama, parametrima, te ostalim pomoćnim podacima kao što je konvergencija masa i površina. Primjer izlaznih rezultata za dvije generacije prikazan je u prilozima 8, 9, i 10. Nije moguće prikazati rezultate svih generacija zbog velikog broja izlaznih podataka. Ključan dio izlaznih podataka nalazi se obično u podacima koji pripadaju zadnjoj generaciji, gdje se nalaze nedominirana tj. preferirana projektna rješenja. U zadnjoj generaciji cijela populacija rješenja predstavlja nedominirana projektna rješenja, a njihov broj ovisi o veličini populacije.



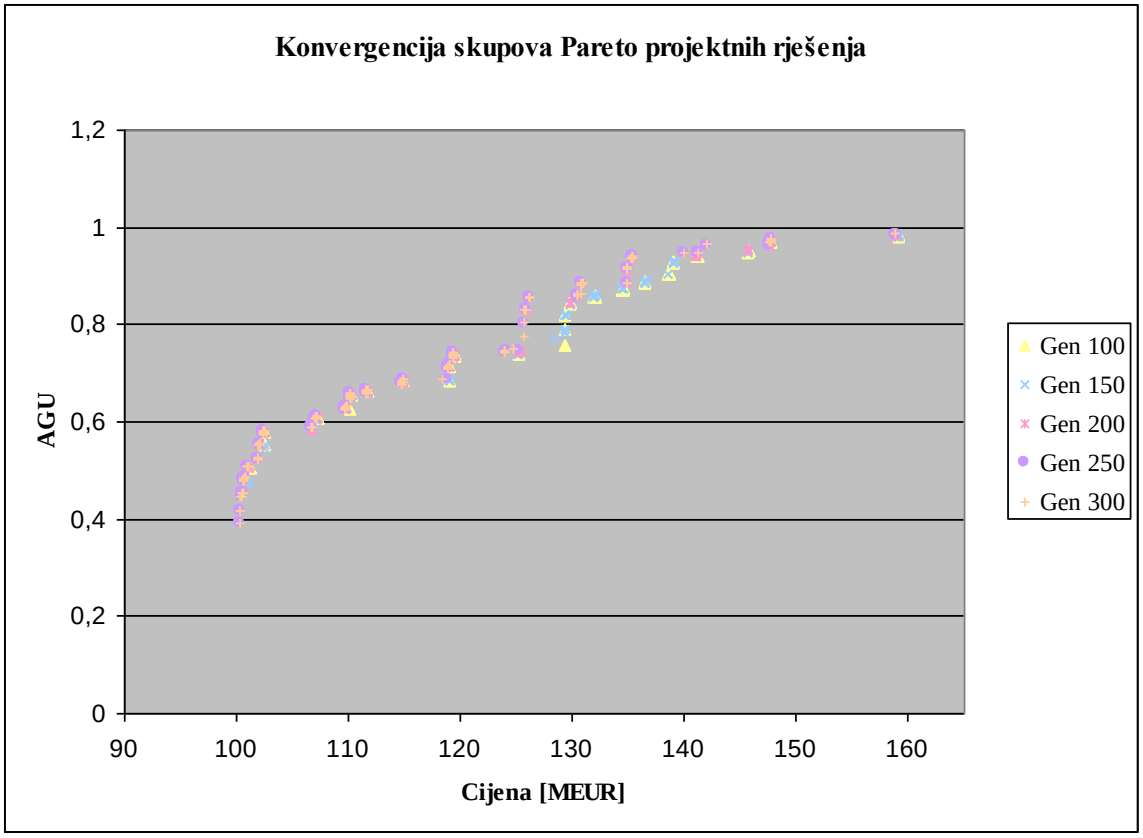
Slika 56. Forma ulaznih podataka programa MONAKO PRB

5.3 Stabilnost i pouzdanost izlaznih rezultata višekriterijskog projektnog modela

U cilju prezentiranja konvergencije skupa Pareto optimalnih rješenja na Slici 57. i 58. prikazani su skupovi projektnih rješenja u nekoliko uzastopnih generacija. Očito je da skupovi rješenja nakon svakog povećanja određenog broja generacija konvergiraju prema idealnom Pareto frontu. Na nižim generacijama skup Pareto projektnih rješenja je manji dok se on povećava povećavanjem broja generacija. Za generacije 70 i veće broj Pareto optimalnih rješenja jednak je broju populacije. Na Slici 58. vidljivo je da nakon 100. pa sve do zadnje 300. generacije projektna rješenja se podudaraju tj. nema znatnih odstupanja iz čega se može zaključiti da je postignut skup projektnih rješenja koja teže prema idealnom Pareto frontu.

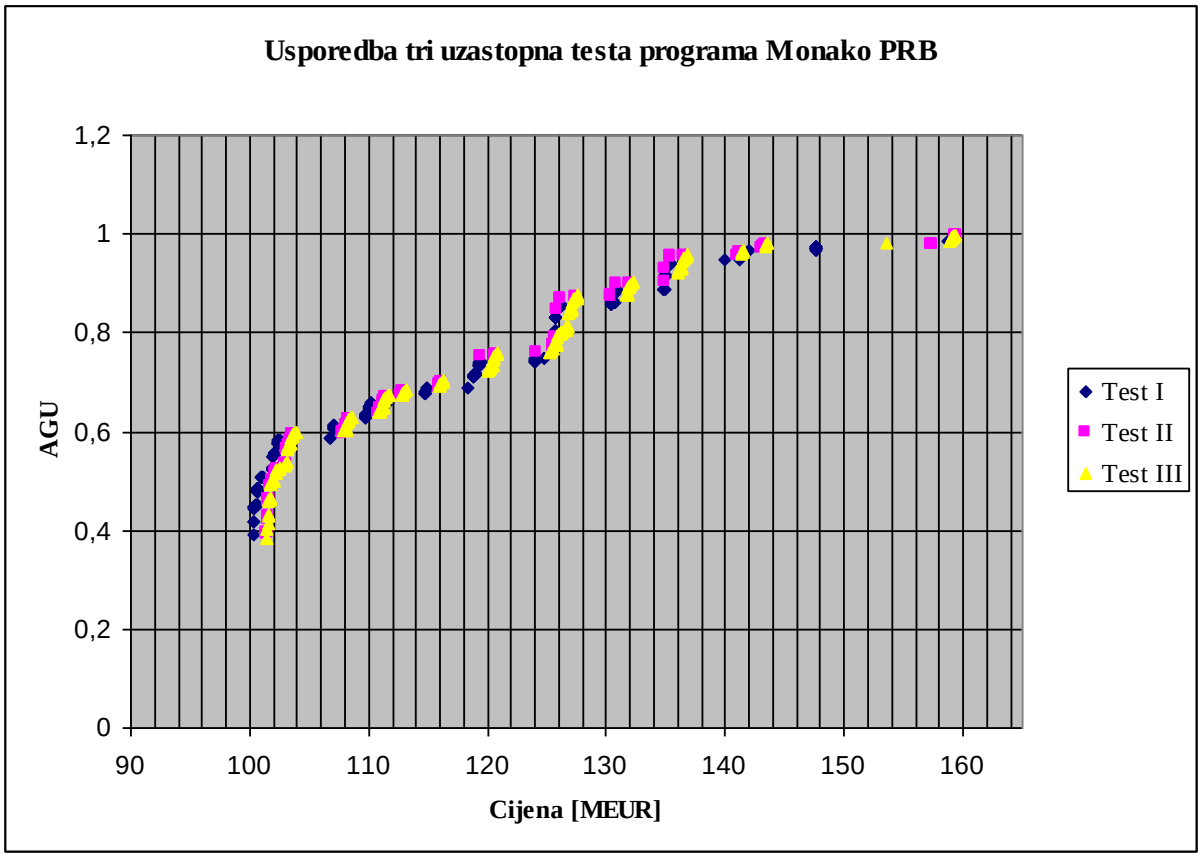


Slika 57. Konvergencija skupova Pareto projektnih rješenja (za 12 različitih generacija)



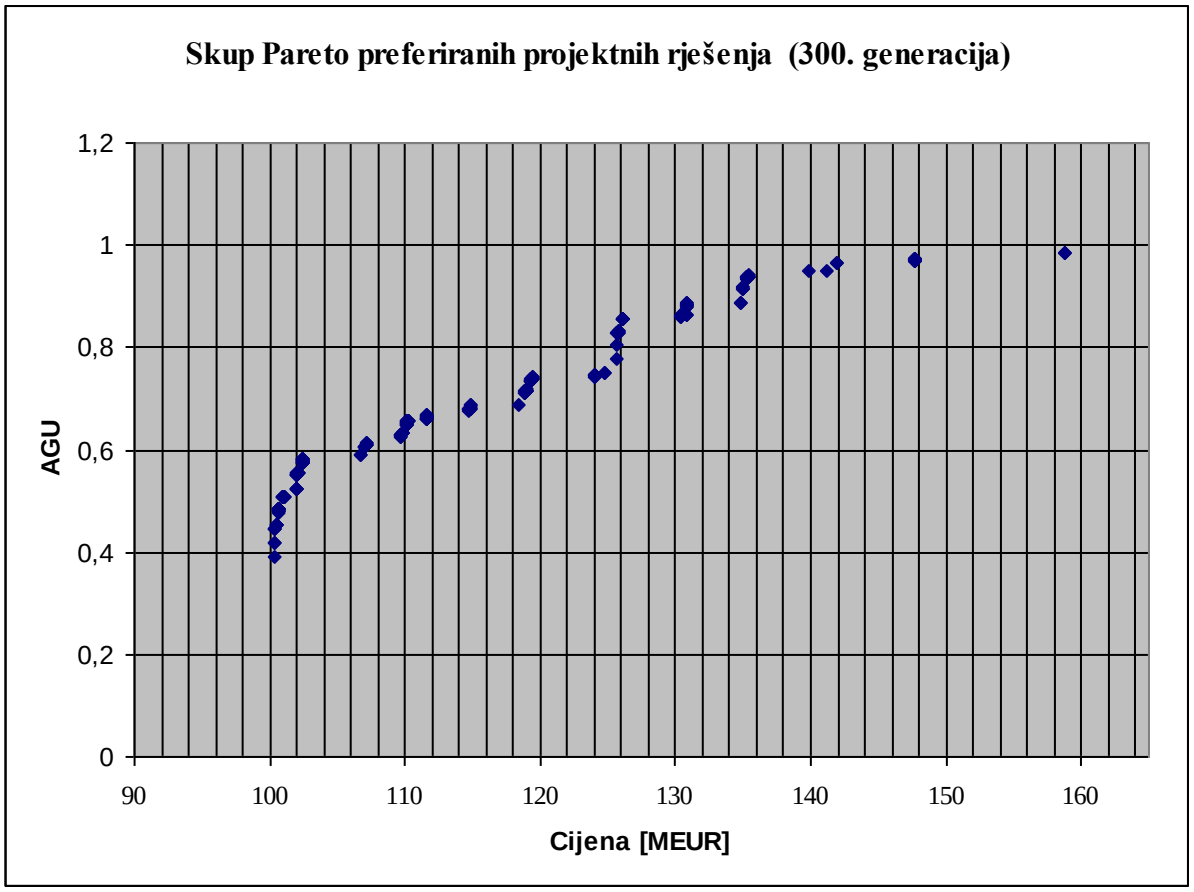
Slika 58. Konvergencija skupova Pareto projektnih rješenja (za 5 različitih generacija)

Na Slici 59. prikazan je dijagram koji pokazuje stabilnost dobivenih rješenja. Proračun je ponovljen tri puta sa slučajno odabranim ulaznim varijablama modela. Svaki put rezultati se poklapaju u blizini idealnog Pareto fronta što pokazuje sa su izlazni rezultati stabilni tj. da daju očekivana Pareto optimalna rješenja.



Slika 59. Stabilnost izlaznih rezultata na tri uzastopna proračuna (300. generacija)

Izlazni rezultati programa opisanog u 5.2 predstavljaju skup Pareto optimalnih tj. preferiranih projektnih rješenja. Taj skup projektnih rješenja predstavlja bazu podataka projekata od kojih se uzimaju u razmatranje najviše tri koja ulaze u konačno razmatranje za nastavak projekta kroz glavni projekt, modelska ispitivanja, itd. Na Slici 60. prikazan je primjer Pareto skupa preferiranih projektnih rješenja predmetnog projektnog modela.



Slika 60. Primjer skupa preferiranih Pareto projektnih rješenja

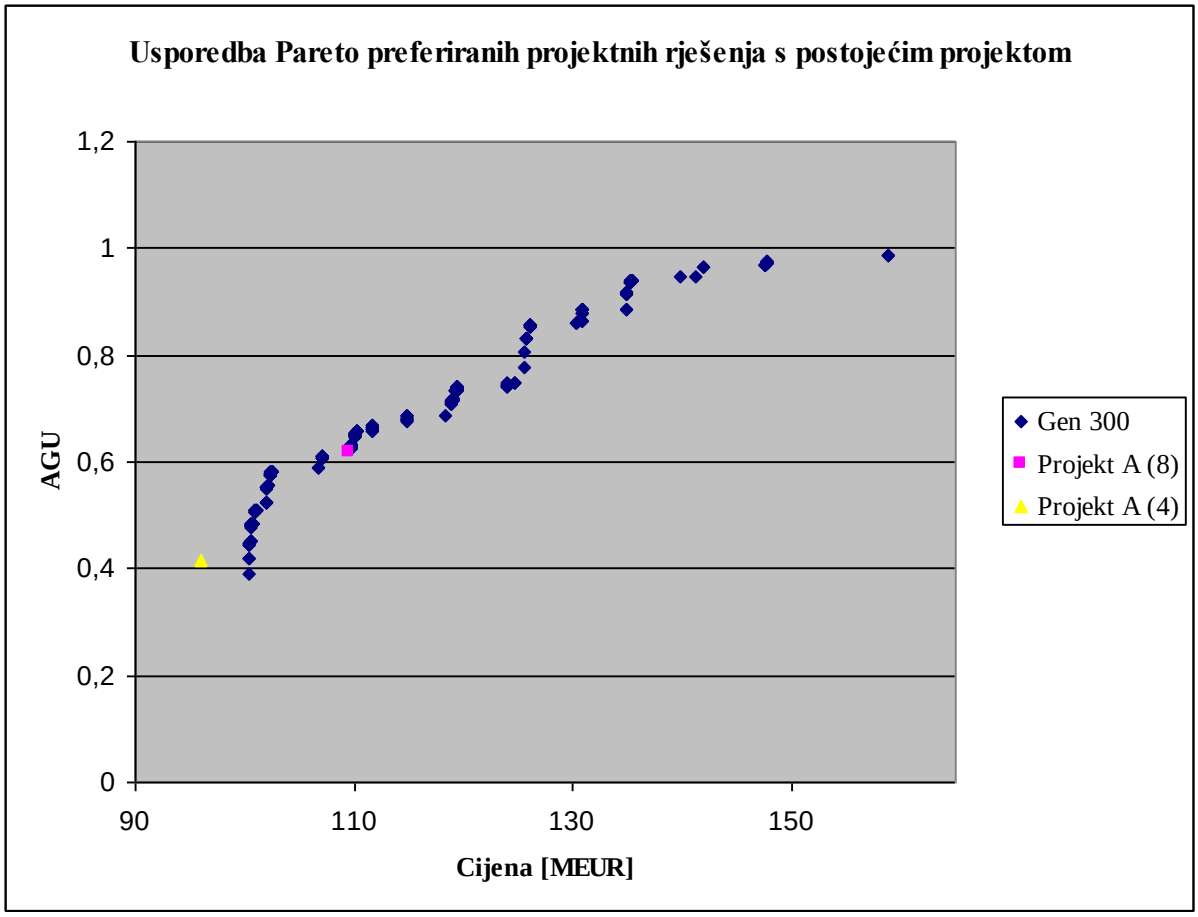
Razmatranjem izlaznih rezultata programa Monako PRB može se zaključiti slijedeće:

1. Rezultati konvergiraju prema Pareto idealnom frontu optimalnih projektnih rješenja.
2. Skupovi Pareto projektnih rješenja su stabilni što je pokazano dobivanjem približno istih rezultata kod ponavljanja proračuna sa slučajno odabranim ulaznim varijablama.
3. Postoji dovoljan broj projektnih rješenja koja su vrlo dobro distribuirana na Pareto frontu.
4. U početnim generacijama gotovo i nema izvodivih projektnih rješenja, dok povećanjem broja generacija njihov broj se povećava, da bi nakon otprilike 20. generacije sva projektna rješenja bila izvodiva.
5. U skupu Pareto optimalnih projektnih rješenja u većini slučajeva materijal trupa je standardni brodograđevni čelik, a u rijetkim slučajevima čelik povišene čvrstoće, dok materijal Al legure nije odabran za niti jedna projekt. Takvi rezultati se objašnjavaju činjenicom da bi projektna rješenja s trupom od Al legure bila značajno lakša i samim time postizala veće brzine, te i veće vertikalne akceleracije. Zbog navedenog većina takvih projekata je odbačena jer nisu zadovoljili kriterij ograničenja pomorstvenosti.

6. U skupu Pareto preferiranih projektnih rješenja za pogonski sustav u najvećem broju slučajeva je odabrana opcija 7 (CODAD + FPP), a u vrlo malom broju opcija 10 (CODAD + FPP ali manje snage od opcije 7), te rijetko kada opcija 3 (CODAG + FPP). To se objašnjava činjenicom da je projektni prostor definiran vrlo strogim skupom ograničenja zbog čega su projekti s drugim opcijama pogonskog sustava odbačeni. U cilju dobivanja raznovrsnijih rješenja vezano za pogonski sustav u model bi se mogli dodati nove opcije pogonskog sustava.
7. Rezultati su logično očekivani, konvergiraju, stabilni su što podrazumijeva da su pouzdani i vjerodostojni.

5.4 Usporedba dobivenih rezultata s postojećim projektnim rješenjima

U ovom dijelu rada izvršena je usporedba dobivenih rezultata s vrijednostima parametara postojećih projektnih rješenja. Kako bi usporedba bila vjerodostojna za postojeća projektna rješenja se pretpostavlja da se radi o novim projektima s najnovijom generacijom opreme i naoružanja kako bi uopće bili usporedivi s projektnim rješenjima koje daje predmetni projektni model. Uzimajući u obzir navedenu pretpostavku za postojeća projektna rješenja su „ručno“ izračunati atribut cijene i globalne učinkovitosti broda te su naneseni u dijagram na kojem su prikazani Pareto preferirana projektna rješenja koje daje predmetni projektni model. Za proračun atributa postojećih projektnih rješenja primijenjena je ista metodologija koja je korištena u predmetnom projektnom modelu. Na Slici 61. prikazan je skup Pareto preferiranih projektnih rješenja i jedan postojeći projekt A. Postojeći projekt A s 8 ASMS raketa je pozicioniran vrlo blizu Pareto fronta što je još jedan argument potvrde pouzdanosti razvijenog projektnog modela. To znači da predmetni projektni model daje projektna rješenja koja su vrlo blizu postojećeg projekta koji je detaljno razvijen projekt u svim svojim segmentima kao što je masa i centracija, optimizacija mase, stabilitet, otpor, pomorstvenost itd. Projekt A s 4 ASMS rakete je pozicioniran izvan projektnog prostora kao što je prikazano na Slici 61. Razmatranjem projektnih ograničenja u predmetnom projektnom modelu uočeno je da postojeći projekt ne bi zadovoljio ograničenje početnog stabiliteta zbog toga što je koeficijent omjera G_M naspram B iznosi 0,185 dok C_{GMB} mora biti u granicama od 0.05 do 0.15. Iz navedenog proizlazi da postojeći projekt ima preveliku metacentarsku visinu, tj. brod je „krut“ i ima mali period ljuljanja te veća kutna ubrzanja, te kao takav bi bio odbačen u predmetnom projektnom modelu.



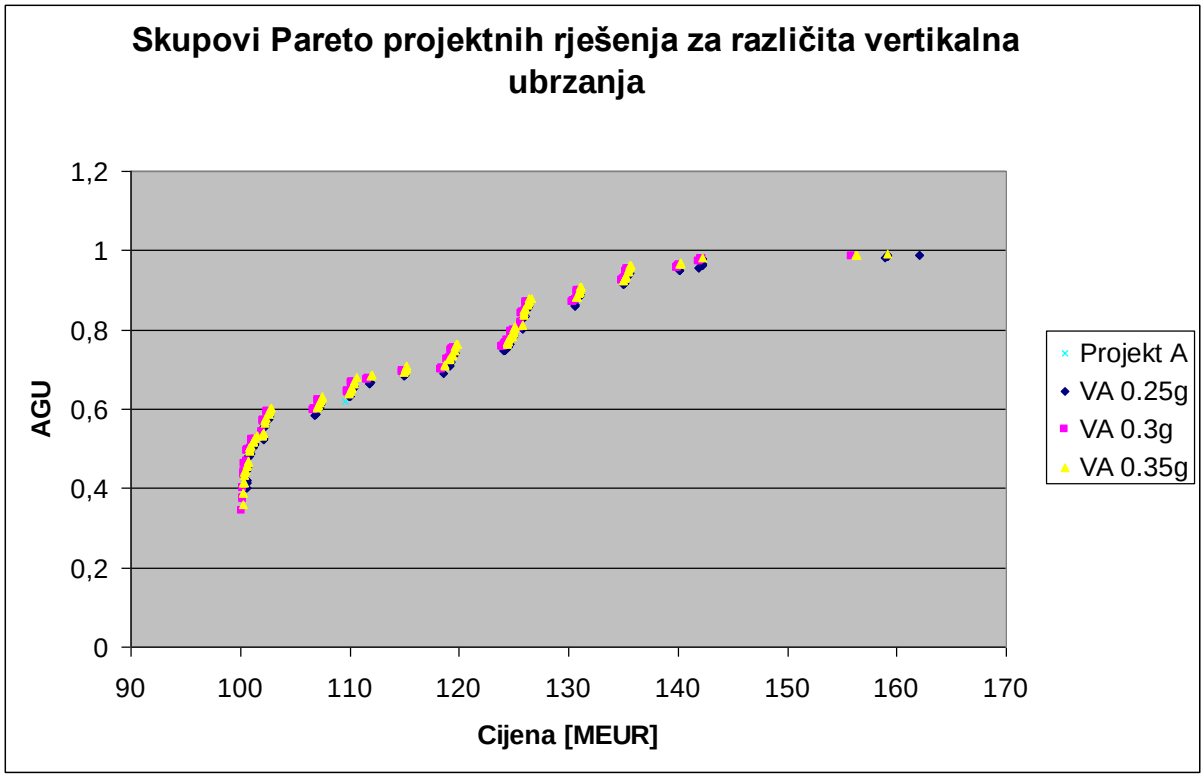
Slika 61. Usporedba Pareto preferiranih projektnih rješenja s postojećim projektom

Postojeći projekt A također ne bi zadovoljio niti ograničenje pomorstvenosti budući da vertikalna ubrzanja na mostu kod maksimalne trajne brzine od 32 čvora značajno premašuju graničnu vrijednost vertikalnih ubrzanja od 0.25g i iznose 0,42g. Iz navedenog se može zaključiti da postojeći projekt A ne bi zadovoljio postavljena ograničenja, te ne bi bio u skupini izvedivih projektnih rješenja. U Tablici 13. prikazane su usporedne karakteristike projekta A i najbližeg projekta s Pareto krivulje. Ovom usporedbom može se zaključiti da je obranjena hipoteza rada kojom razvijeni predmetni projektni model daje projektna rješenja koja su izvediva i zasigurno bolja od postojećih. Drugi dostupni postojeći projekti nisu u klasi predmetnog projektnog modela te nisu niti razmatrani za usporedbu. Načelno može se zaključiti da predmetni projektni model daje bolja projektna rješenja od postojećih i da je opravdao uloženi trud u njegov razvoj te da je potvrdio postavljenu hipotezu rada.

Tablica 13. Usporedba projekta A i najbližeg projekta s Pareto fronte

	Monako PRB	Projekt A
L_{WL}	45.35	49.76
B	6.46	7.28
T	2.19	2.1
H_{T10}	4.57	4.5
C_P	0.75	0.70
C_B	0.58	0.45
C_M	0.78	0.65
C_{WP}	0.9	0.78
D_P	1.99	1.2
P_{PAT}	3440	3572
P_{MCR}	10320	10716
U_S	28.68	32.4
U_E	19.19	18
U_{MAX}	30.42	36.4
W_{LS}	289	283.6
W_T	385	389.9
G_M	0.4	1.35
C_{GMB}	0.063	0.185
A_M	0.24	0.42
A_{GU}	0.6324	0.6179
C_{TLC}	109.99	109.6238

Pored navedenih testova izvršena je usporedba izlaznih rezultata iz projektnog modela za različita ograničenja vertikalnih ubrzanja i to za vrijednosti vertikalnih ubrzanja od 0.25g, 0.30g i 0.35g. Skupovi dobivenih Pareto projektnih rješenja prikazani su na Slici 62. Sa slike je vidljivo da se ublažavanjem ograničenja vertikalnih ubrzanja dobivaju projektna rješenja veće učinkovitosti. Takvi rezultati su očekivani i logični jer smanjivanjem ograničenja vertikalnih ubrzanja projektni model proizvodi projektna rješenja s većom maksimalnom i ophodnom brzinom što u konačnici utječe na blago povećanje globalne učinkovitosti broda.



Slika 62. Usporedba Pareto skupova projektnih rješenja za različite vrijednosti ograničenja vertikalnih ubrzanja

Na Slici 62. prikazan je Projekt A čije značajke su uspoređene s najbližim projektima za sva tri vertikalna ubrzanja. Usporedba značajki sva četiri projekta prikazana je u Tablici 14. Iz navedene usporedbe može se zaključiti da se ublažavanjem ograničenja vertikalnih ubrzanja dobivaju projekti broda veće duljine i vitkije forme s manjim koeficijentima CB, CP i CM te većim brzinama. Navedeni test pokazuje fleksibilnost projektnog modela glede ograničenja koja ne moraju biti „kruta“ već se mogu razmatrati u određenom rasponu interesantnih vrijednosti.

Tablica 14. Usporedba projekta A s najbližim projektima različitih vertikalnih ubrzanja

	Projekt A	Monako PRB AV=0.25g	Monako PRB AV=0.3g	Monako PRB AV=0.35g
L_{WL}	49.76	45.35	47.76	50.07
B	7.28	6.46	6.28	6.71
T	2.1	2.19	2.09	2.68
H_{T10}	4.5	4.57	4.32	5.61
C_P	0.70	0.75	0.75	0.67
C_B	0.45	0.58	0.59	0.43
C_M	0.65	0.78	0.79	0.64
C_{WP}	0.78	0.9	0.91	0.84
D_P	1.2	1.99	1.96	2.37
P_{PAT}	3572	3440	3440	3440
P_{MCR}	10716	10320	10320	10320
U_S	32.4	28.68	31.43	34.28
U_E	18	19.19	20.01	21.09
U_{MAX}	36.4	30.42	33.18	35.78
W_{LS}	283.6	289	289	309
W_T	389.9	385	382	397
G_M	1.35	0.4	0.41	0.36
C_{GMB}	0.185	0.063	0.065	0.054
A_M	0.42	0.24	0.28	0.34
A_{GU}	0.6179	0.6324	0.6413	0.639
C_{TLC}	109.624	109.99	109.8	109.94

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom razvijen je višekriterijski konceptualni projektni model generičkog tipa za projektiranje manjeg višenamjenskog ratnog broda. Predmetni projektni model se sastoji od dva dijela, prvi koji rješava brodograđevni dio problema, te drugi koji predstavlja optimizaciju primjenom genetičkog algoritma i Pareto metode odabirom preferiranih projektnih rješenja. Model omogućuje opisivanje ratnog broda modeliranjem njegovih taktičko-tehničkih značajki kao što su geometrijske značajke forme, brzina, doplov, autonomnost, te značajki koje se odnose na preživljavanje broda. Sva projektna rješenja koja se razmatraju u predmetnom projektnom modelu su uravnotežena s obzirom na mase i površine / volumene, što znači da se za određeni ulazni skup parametara dobiva brod najmanje istisnine i zahtijevane površine / volumena. Usporedba i rangiranje projekata zasniva se na atributima cijene životnog ciklusa i globalne učinkovitosti broda. Cijena životnog ciklusa sastoji se od cijene gradnje broda, troškova posade, te troškova za gorivo, mazivo i održavanje broda tijekom njegovog životnog ciklusa. Globalna učinkovitost izračunava se primjenom Saatyeve teorije odlučivanja primjenom analitičkog hijerarhijskog procesa u kojem eksperti (zapovjednici brodova) uspoređuju parove kriterija kojima se analitičkim putem dodjeljuju težinski koeficijenti. Konačan rezultat predmetnog projektnog modela je dobivanje skupa Pareto nedominiranih projektnih rješenja. Za potrebu razvoja predmetnog projektnog modela razmotrena je sva potrebna teorija koja se odnosi na brodograđevni dio i dio koji rješava odabir preferiranih projektnih rješenja, te je izrađen program Monako PRB. Izlazni rezultati programa Monako PRB su se pokazali pouzdani i stabilni primjenom standardnih testova osjetljivosti modela (konvergencija projektnih rješenja, ponavljanje proračuna, te usporedbe projektnih rješenja s postojećim projektima). Temeljem usporedbe skupa projektnih rješenja s postojećim projektima obranjena je hipoteza rada koja se zasniva na postavci da će predmetni projektni model davati bolja projektna rješenja od postojećih. Razvijeni projektni model predstavlja sintezu znanja iz raznih brodograđevnih područja te optimizacije koja se primjenjuje na višoj razini što rezultira jednim sinergijskim učinkom u dobivanju preferiranih, boljih projekata. Predmetni projektni model je dovoljno generičkog tipa da se uz manje prilagodbe može primijeniti za projektiranje drugih tipova ratnih brodova kao što su obalni i odobalni ophodni brodovi, logistički brodovi, brodovi za istraživanje, te za potrebe projektiranja civilnih brodova. U postojećem projektnom modelu svakako postoji prostora za nadogradnju i njegovo poboljšanje. To se u prvom redu odnosi na primjenu drugih metoda kod proračuna otpora broda čime bi postojeći projektni

model mogao razvijati projekte brodova različitih formi, a samim time i različitih tipova brodova. Daljnja nadogradnja odnosi se na bolje opisivanje pojedinih skupina masa broda kao što je oprema broda i brodski pomoćni sustavi. Za ovu potrebu u postojećem projektnom modelu primjenjeni su podaci sa manjeg broja sličnih brodova, dok bi predmetni projektni model bio bolji kada bi se primijenio veći broj sličnih brodova. Značajna poboljšanja mogla bi se učiniti na području proračuna stabiliteta i pomorstvenosti uvođenjem modela s detaljnijim proračunima. Za provedbu navedenog bilo bi potrebno raspolagati sa super brzim računalom koje bi bilo u stanju u relativno kratkom vremenu provoditi kompleksne proračune pomorstvenosti. Na taj način bi se u model mogao uvesti i parametar značajnog perioda valova vezano za uvjete okoliša čime bi se primjenom spektra jadranskog mora još bolje opisali uvjeti okoliša koji se mogu susresti u akvatoriju za koji je brod projektiran. U tom slučaju može se razmišljati o primjeni modela koji bi brodsku formu razmatrao kao brodske linije a ne samo primjenom parametara brodske forme. Ovakav pristup je zahtjevniji, traži puno više resursa računala, te čini složenijom integraciju cijelog modela. U cilju kontinuiranog korištenja predmetnog projektnog modela potrebno je povremeno vršiti ažuriranje baze ulaznih podataka koja sadrži podatke o masama, zahtijevanoj površini i cijenama opcija opreme i naoružanja. Zaključujući ovaj rad može se ocijeniti da je razvojem projektnog modela i analizom njegovih izlaznih rezultata obranjena hipoteza rada, model je dao očekivane rezultate i ispunio najveći dio postavljenih ciljeva ovog rada.

6.1 Originalni znanstveni doprinos doktorskog rada

Znanstveni doprinos doktorskog rada u prvom redu se odnosi na poboljšanje procesa donošenja odluka u postupku projektiranja ratnog broda primjenom izrađenog konceptualnog projektnog modela. Projektni model proizvodi skup projektnih rješenja na konceptualnoj razini od kojih se odabira jedan za kojeg se razrađuje detaljan projekt. Izrađeni projektni model će značajno ubrzati i kvalitativno poboljšati fazu konceptualnog projektiranja ratnog broda koja je najzahtjevnija i ima najveći utjecaj na karakteristike konačnog projekta. Projektni model omogućuje dobivanje preferiranih projektnih rješenja koja zadovoljavaju postavljene taktičko-tehničke zahtjeve te su bolja od postojećih koji su projektirani klasičnim načinom. Rezultat ovog rada je projektni model koji sintetizira postojeća znanja o teoriji broda te primjenom naprednih optimizacijskih metoda postiže se učinak njihove primjene na višoj razini.

POPIS LITERATURE

[1] D., Watson: “Practical Ship Design “, Elsevier Science, 1998

[2] H., Schneekluth and V., Bertram: “Ship Design for Efficiency and Economy “, Butterworth - Heinemann,1998

[3] M., Reed: “Ship Synthesis Model for Naval Surface Ships “, magistarski rad, Massachusetts Institute of Technology, 1976

[4] Mustafa Yasin Kara : „A Tool for Evaluating the Early-Stage Design of Corvettes“, magistarski rad, Massachusetts Institute of Technology, 2010

[5] F., Mistree, W., F., Smith, B., A., Bras, J., K., Allen, D., Muster: “Decision based Design: A Contemporary paradigm for Ship Design”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1990

[6] V., Žanić, P., Čudina: “Multiattribute Decision Making Methodology in the Concept Design of Tankers and Bulk Carriers”, Brodogradnja : Časopis brodogradnje i brodograđevne industrije. 60 (2009) , 1; 19-43 (članak, znanstveni)

[7] J., H., Holland: “Adoptation in Nature and Artificial Systems”, Massachusetts Institute of Technology,1992

[8] Michalewicz, Zbigniew: “Genetic Algorithms in Search + Data structures = Evolution Programs”, Springer- Verlag, 1992

[9] S., Shahak: “Naval Ship Concept Design: an Evolutionary Approach“, magistarski rad, Massachusetts Institute of Technology, 1998

[10] A., J., Brown, J., Salcedo: “Multi-Objective Optimization in Naval Ship Design“,Naval Engineers Journal Vol. 115, No. 4, pp. 49-61. 2003

[11] A., Brown, N., Good: “Multi-Objective Concept Design of an Advanced Logistics Delivery System Ship“, ASNE Joint Sea Basing Symposium, 2006

[12] T., S., Mierzwicki: “Risk Index for Multi-Objective Design Optimization of Naval Ships“, magistarski rad, Faculty of Virginia, Polytechnic Institute and State University, 2003

[13] D., Demko: “Tools for Multi-Objective and Multi-Disciplinary Optimization in Naval Ship Design“, magistarski rad, Faculty of Virginia, Polytechnic Institute and State University, 2005

[14] V.Žanić, I.Grubišić, G.Trincas:“ Multiattribute Decision Making System Based on Random Generation of nondominated Solutions-Application to Fishing Vessel Design“,

Proceedings of the 3'rd International Symposium on 'Practical Design of Ships and Mobile Units', PRADS'92, Newcastle upon Tyne, 1992, Vol.2, pp. 623-630

[15] I., Grubišić, E., Begović: „Multi-attribute Concept Design Model of Patrol, Rescue and Antiterrorist Craft“, 7th International Conference on FAST Sea Transportation, FAST 2003, Ischia 7-10 Oct. 2003, Vol 3, D1, pp. 91-98.

[16] Jasna Prpić Oršić, Većeslav Čorić: „Pomorstvenost plovnih objekata“, Sveučilište u Rijeci, 2006

[17] Manfred Fritsch, Volker Bertram : „Hydrodinamic Design Aspects for Fast Conventional Vessels“

[18] Daniel Savitsky: „On the Subject of High Speed Monohulls“

[19] J. Holtrop, G. G. J. Mennen : „An Aproximate Power Prediction Method“, 1982

[20] J. Holtrop : „A Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data“, 1984

[21] Robert D. Moody:“ Preliminary power prediction during early design stages of a ship“, Cape Peninsula University of Technology, 1996

[22] Siu C. Fung :“Resistance and Powering Prediction for Transom Stern Hull Forms During Early Stage Ship Design“, SNAME, Vol. 99, 1991, pp. 29-84

[23] E. Begović : „ Hidromehanički modul u višekriterijskom projektnom modelu brzih brodova“, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, magistarski rad, 1998

[24] D. Savitsky : „ Hidrodynamic Design of Planning Hulls“, 1964

[25] D. Savitsky, Michael F. DeLorme, Raju Datla : „Inclusion of Whisker Spray Drag in Performance Prediction Method for Hihg Speed Planing Hulls“, Marine Technology, Vol. 44, No. 1, Jan 2007, pp. 35-56

[26] M. C. Eames, T. G. Drummond: „Concept expoloration – an approach to small warship design“, RINA, London, 1976

[27] D. Bailey: „A statistical analysis of propulsion data obtained from models of high speed round bilge hulls“, Symposium on small fast warships and security vessels, RINA, 1982

[28] A. Sentić, M. Fancev: „Problemi otpora i propulzije brodova“, Brodogradnja, 1956, Zagreb

[29] Brodarski Institut: Studija koncepcijskih rješenja za obalni ophodni brod i višenamjenski brod“, 2005

[30] Izvor Grubišić : „Osnovni kompjutorski sistem za projektiranje ratnog broda do faze idejnog projekta“, FSB u Zagrebu, 1987

[31] A. J. Gillespy :“Integrating Seakeeping in the Design of Semi-Displacement and Displacement Monohulls“, Massachusetts Institute of Technology, doktorski rad, 2010

[32] I. Grubišić, E. Begović : „Multi –Attribute Concept Design Model of the Adriatic Type of Fishing Vessel“, Brodogradnja 49 (2001)1, 39-54

[33] Society of Naval Architect and Marine Engineers (SNAME), Ship Design – 1: „Panel Weight Estimating and Margin Manual for marine Vehicles“, 2001

[34] Lamb, Thomas: „Ship Design and Construction“, Vol I, 2003

[35] Lloyd Register: „Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft“, 2011

[36] D. A. Taylor : „Introduction to Marine Engineering“, Elsevier Butterworth - Heinemman, 2003

[37] NATO Standardization Agreement 4154 : „Common Procedures for Seakeeping in the Ship Design Process“, NATO Standardization Agency, 2000

[38] J. William Kamphuis:“Introduction to Coastal Engineering and Management“, World Scientific Publishing Co., Ptc., Ltd., 2010

[39] Allied Naval Engineering Publication ANEP-41: „Ship Costing“, NSA 2006, Ed 4

[40] Kalyanmov Deb: „Single and Multi-objective Optimization Using Evolutionary Computation“, Indian Institute of Technology Kanpur, Department of Mechanical Engineering, 2004 (http:/www.iitk.ac.in./kangal/deb.htm)

[41] Baker, J. E.:“Reducig Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm“, Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms, Lawrence Erlbaum Assosiates, 1987

[42] http://www.geatbx.com/docu/algindex-02.html (Evolutionary Algorithms: Selection)

[43] Nan Liu, Bo Huang, Xiaohong Pan: „Using the Ant Algorithm to Derive Pareto Fronts for Multiobjective Siting of Emergency Service Facilities“ , Journal of the Transportation research Board, str. 120-129, 2005

[44] Ashish Ghosh, Satchidananda Dehuri: „Evolutionary Algorithms for Multi-Criterion Optimization: A Survey“, International Journal of Computing & Information Sciences, Vol. 2, str. 38-57, 2004

[45] Albert Zamarin, Jasmin Jelovica, Marko Hadjina: „Optimizacija strukture s više funkcija cilja – pregled postojećih metoda genetičkog algoritma“, 2009

[46] Kalyanmoy Deb, Amrit Pratap, T. Meyarivan: Constrained Test Problems for Multi-Objective Evolutionary Optimization“ Kanpur Genetic Algorithms Labaratory, (http://www.iitk.ac.in/kangal)

[47] Kalyanmoy Deb, Samir Agrawal, Amrit Pratap, T. Meyarivan: „A Fast Elitist Non-Dominated Sorting genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization: NSGA-II“, Kanpur Genetic Algorithms Labaratory, (http://www.iitk.ac.in/kangal)

[48] Aravind Seshadri: „Multi-Objective Optimization Uisng Evolutionary Algorithms (MOEA)“

[49] Aravind Seshadri: „A Fast Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II“

[50] Kalyanmoy Deb, Amrit Pratap, Sameer Agarwal, T. Meyarivan: „A fast and Elitist Multiobjective genetic Algorithm: NSGA-II“ International Journal of Computing & Information Sciences, 2002

[51] Omar Al Jadaan, Lakishmi Rajamani, C. R. Rao: „Non-Dominated Ranked Genetic Algorithm for Solving Multi-Objective Optimization Problems:NRGA“, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2008

[52] Omar Al Jadaan, Lakishmi Rajamani, C. R. Rao: „Non-Dominated Ranked Genetic Algorithm for Solving Constrained Multi-Objective Optimization Problems“, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2009

[53] MTU katalog pogonskih strojeva i diesel agregata, 2008

[54] Caterpillar katalog pogonskih strojeva i diesel agregata, 2008

[55] SAAB Bofors Dynamics : „ RBS15 Mk3 Anti Ship Missile System“, catalogue, 2006

[56] BAE Systems Bofors AB : „Bofors 40 Mk3 Naval Gun System“, catalogue, 2006

[57] BAE Systems Bofors AB : „Bofors 57 Mk3 Naval Gun for the New Era“, catalogue, 2006

[58] A Finmeccanica Company : „76mm Super Rapid Light Weight Naval Gun Mount“, catalogue, 2010

[59] MBDA Missile Systems : „SIMBAD-RC: Remote Control Naval Lightweight Twin Launcher for Ship Self-Defense“, catalogue, 2010

[60] Brodarski institut : „Brodski automatski šestocijevni protuzrakoplovni top 30mm AK-630M“, uputa za uporabu, 1991

[61] Eurotorp : „Surface Vessel Torpedo tube B515“, catalogue, 2010

[62] Eurotorp : „A244/s mod.3 LWT“, catalogue, 2010

[63] Thomas L. Saaty: „Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process“, 1991

[64] Thomas L. Saaty:“Decision Making with the Analytic Hierarchy Process“, Int. J. Services Sciences, Vol. 1, 2008

[65] O. V. Manturov, N. M. Matveev: „A Course of Higher Mathematics“, Mir Publishers, 1989

[66] Geoff Coyle: „The Analytic Hierarchy Process“, Pearson Education Limited, 2004

[67] Aristides Miroyannis: „Estimation of Ship Construction Cost“, Massachusetts Institute of Technology, 2006

[68] Allied Naval Engineering Publication: „Ways to Reduce Costs of Ships“, 2000

[69] Mark James Gray: „An Approach for Developing a Preliminary Cost Estimating Methodology for USCG Vessels“, magistarski rad, Massachusetts Institute of Technology, 1987

[70] Brodarski Institut: „Studija izvedivosti za obalni ophodni brod HRM“, 2008

[71] V. Žanić, P. Prebeg, S. Kitarović: „Decision Support Problem Formulation for structural Concept Design of Ship Structures“, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

[72] Brown A., : „Reengineering the Naval Ship Concept Design Process“, ASNE, 1998

[73] S., N.,Neti :“ Ship Design Optimization Using Asset“, Virginia Polytechnic Institute and State University, magistarski rad, 2005

[74] Oller E., Nikou V., Pssallidas K.: „Focused Mission High Speed Combatant“, Massachusetts Institute Technology, 2003

[75] Schultz J., Baity J., Kast K., Wilde J., Reimold N., Hardy R.: „Design Report Air Superiority Cruiser (CGX)“, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2006

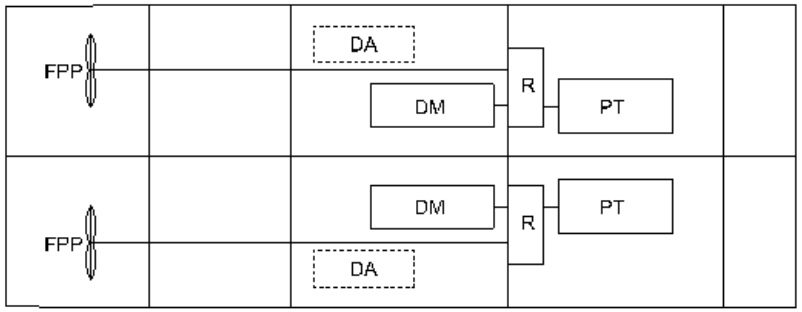
Prilog 1: Test programskog modula otpora broda po metodi Holtrop

L_{WL}	50,00	m	A_{BT}	0.0	m2	C_{WP}	0,8
B	12,00	m	C_M	0.78		C_P	0,60096
T	3,20	m	L_{CB}	-4,5		C_B	0,46875
∇	900,00	m3	A_T	10.0	m2		
S_{APP}	50,00	m2	(1+k2)	3			

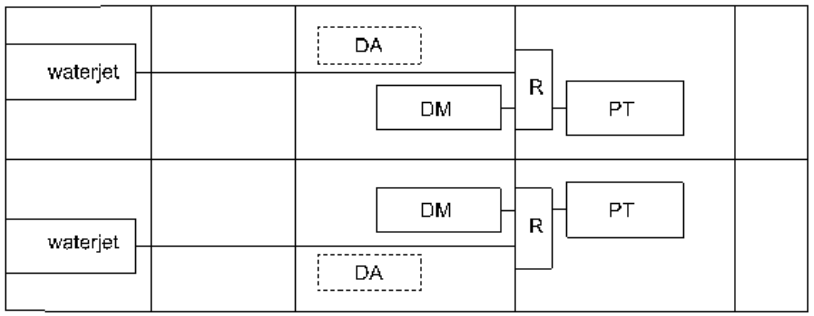
Brzina [čv]	Brzina [m/s]	Fn	R_W [kN]	R_{Wh} [kN]	R_{APP} [kN]	R_{APPh} [kN]	R_{TR} [kN]	R_{TRh} [kN]	R_T [kN]	R_{Th} [kN]
25,00	12,861	0,581	475	474,97	21	21,03	25	24,82	662	659,01
27,00	13,890	0,627	512	512,32	24	24,29	16	15,45	715	712,02
29,00	14,919	0,674	539	539,18	28	27,77	2	2,24	756	752,43
31,00	15,948	0,720	564	563,75	31	31,46	0	0	807	803,24
33,00	16,977	0,767	590	589,73	35	35,37	0	0	864	859,41
35,00	18,005	0,813	618	618,41	39	39,5	0	0	925	919,99

Prilog 2: Sheme opcija pogonskog sustava broda u projektnom modelu

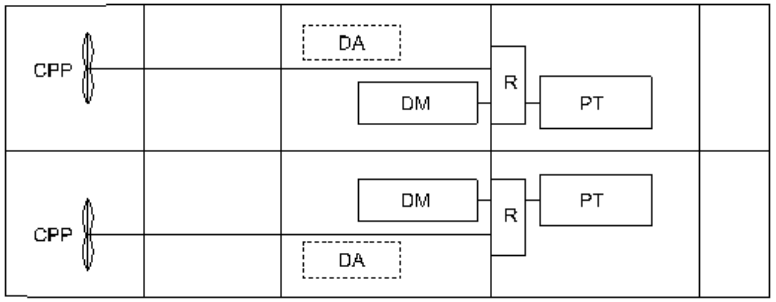
1. CODOG + FPP



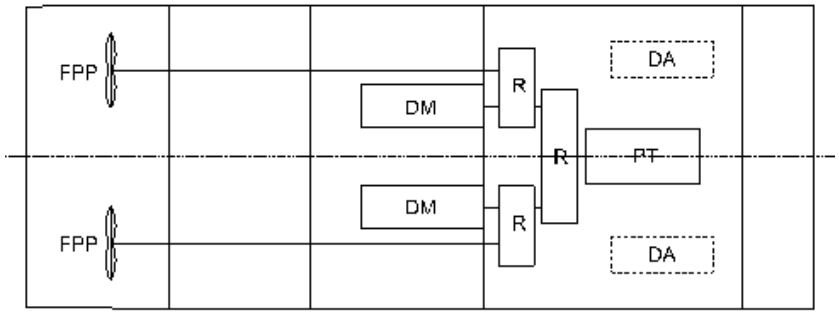
3. CODOG + waterjet



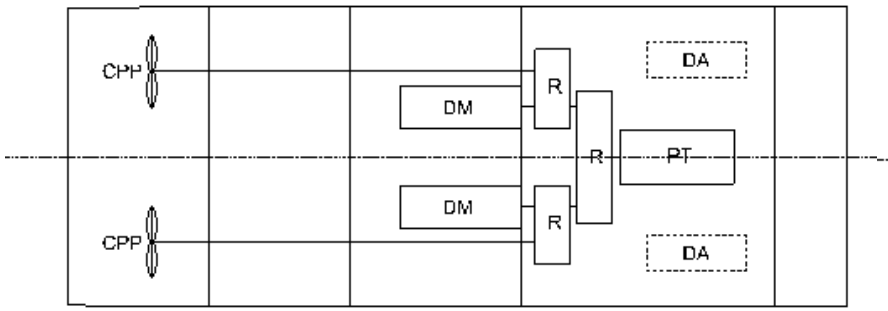
2. CODOG + CPP



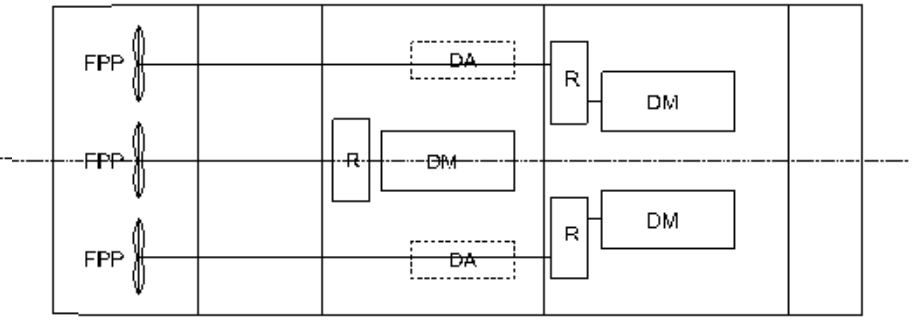
4. CODAG + FPP



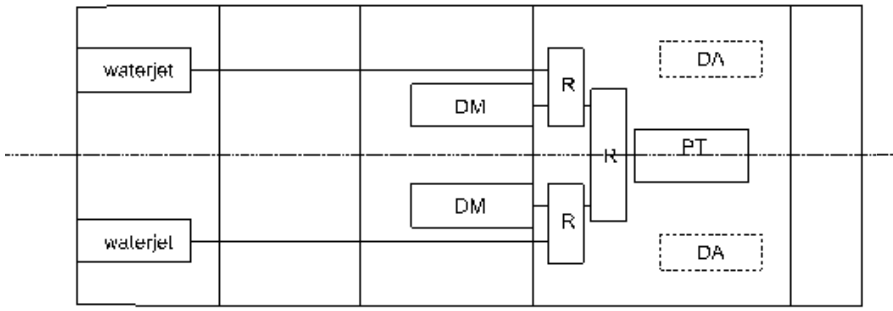
5. CODAG + CPP



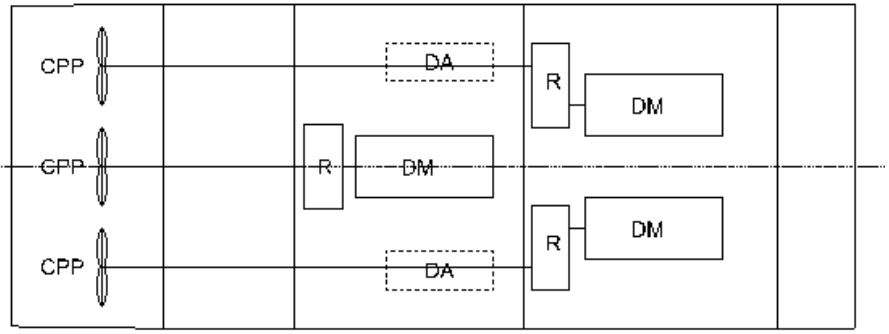
7. 3 DIESEL + FPP



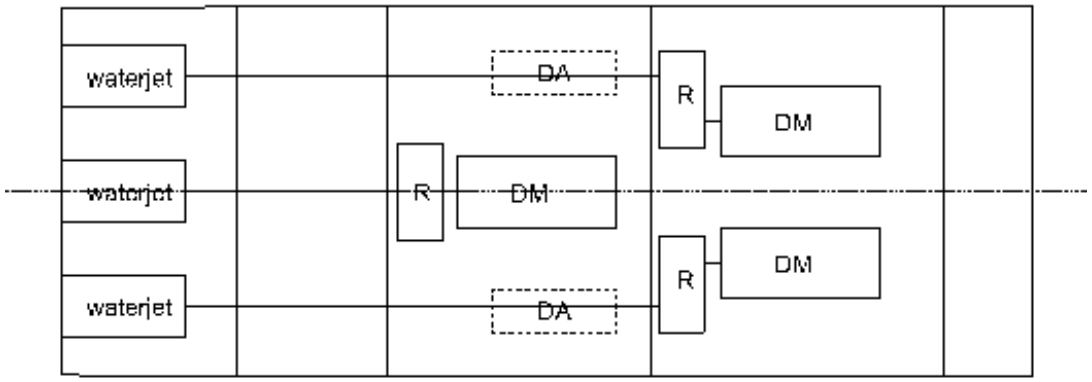
6. CODAG + waterjet



8. 3 DIESEL + CPP



9. 3 DIESEL + waterjet



Napomena: Opcije 10 i 11 su iste kao opcije 7 i 8, osim što su snage diesel strojeva različite.

Prilog 3: Primjer izlaznih parametara samouravnoteženog dijela projektnog modela (dio I)

PB	L_{WL}	B	T	H_{T10}	C_P	C_B	C_M	C_{WP}	D_P	P_{PAT}	P_{MCR}	VS	U_E	U_{MAX}	W_{LS}	W_T	M_{PO}	M_{GRE}
0	49.88	7.37	2.18	4.96	0.69	0.47	0.68	0.85	2.05	3900	11700	28.94	19.49	30.5	312	388	385	-0.0076
1	52.92	7.09	1.9	4.58	0.64	0.55	0.85	0.82	1.9	3440	10320	31.01	20.21	32.51	322	402	399	-0.0083
2	53.01	7.29	1.95	4.59	0.64	0.52	0.81	0.82	1.94	3440	10320	30.86	20.17	32.35	320	405	401	-0.0095
3	52.58	6.6	2.25	5.05	0.7	0.48	0.68	0.86	2.12	6880	14920	35.54	25.26	37.15	267	387	384	-0.0075
4	58.66	8.44	2.35	4.91	0.56	0.43	0.76	0.75	2.27	6880	14920	35.68	25.26	37.16	368	511	508	-0.005
5	47.54	8.5	2.21	5.52	0.58	0.46	0.79	0.76	2.03	6880	14486	33.02	22.94	34.53	314	420	418	-0.0054
6	45.5	8.5	2.21	5.26	0.58	0.46	0.79	0.76	2	6880	14486	33.05	22.83	34.56	299	403	400	-0.0074
7	56.14	8.25	2.3	4.69	0.55	0.43	0.77	0.74	2.2	6880	14920	36.54	25.95	38.06	343	469	464	-0.0097
8	52.01	7.82	2.38	4.79	0.62	0.42	0.68	0.8	2.2	6880	14486	36.16	25.48	37.69	322	421	418	-0.0078
9	45.14	8.49	2.44	5.65	0.57	0.45	0.79	0.75	2.15	6880	14486	35.02	23.87	36.65	323	436	432	-0.0091
10	49.37	7.05	2.43	4.98	0.62	0.35	0.57	0.79	2.19	3440	10320	34.95	22.02	36.39	234	305	302	-0.0091
11	49.79	7.55	1.88	4.98	0.62	0.5	0.81	0.8	1.85	6880	14486	37.18	26.32	38.77	254	369	366	-0.008
12	52.48	7.55	2.15	4.55	0.71	0.52	0.73	0.87	2.06	3900	11700	28.28	19.66	29.82	351	455	451	-0.0089
13	62.64	6.4	2.4	4.93	0.57	0.37	0.65	0.76	2.35	3900	11700	35.79	23.46	37.16	285	371	369	-0.0052
14	52.16	7.58	2.16	4.52	0.71	0.51	0.72	0.87	2.06	3900	11700	28.3	19.64	29.84	344	450	448	-0.0052
15	44.73	8.44	2.48	6.39	0.55	0.47	0.85	0.74	2.17	6880	14486	34.26	23.55	35.73	329	452	449	-0.008
16	47.24	9.54	2.83	6.39	0.57	0.36	0.62	0.76	2.43	6880	14486	33.56	23.71	34.97	364	472	467	-0.0093
17	63.33	6.47	2.43	4.99	0.57	0.37	0.65	0.76	2.38	3900	11700	35.51	23.24	36.88	290	383	382	-0.0037
18	55.26	6.47	2.07	4.32	0.75	0.45	0.61	0.91	2.04	3440	10320	31.17	21	32.73	253	343	344	0.003
19	51.24	6.19	2.48	5.09	0.69	0.47	0.68	0.85	2.25	3900	11700	31.69	20.43	33.13	307	381	378	-0.0064
20	49.4	6.29	2.51	4.91	0.69	0.47	0.68	0.85	2.25	3900	11700	31.21	20.12	32.66	303	377	374	-0.0071
21	53.54	7.36	1.97	4.63	0.64	0.52	0.81	0.82	1.96	3440	10320	30.55	20.09	32.05	329	415	413	-0.006
22	45.88	8.23	2.61	6.43	0.6	0.43	0.72	0.78	2.27	6880	14486	32.39	22.31	33.9	324	437	434	-0.0055
23	51.68	7.77	2.36	4.36	0.62	0.42	0.68	0.8	2.19	6880	14486	36.38	25.68	37.92	314	413	410	-0.0068
24	43.06	8.15	2.12	4.97	0.57	0.45	0.78	0.76	1.91	3900	11700	31.78	19.45	33.21	263	343	342	-0.0044
25	46.17	9.3	2.41	5.4	0.57	0.39	0.69	0.76	2.14	6880	14486	32.64	22.8	34.14	311	421	418	-0.006
26	54.92	6.99	1.96	4.22	0.69	0.58	0.84	0.86	1.97	6880	14486	34.21	24.06	35.85	312	451	449	-0.0046
27	50.61	7.58	2.3	4.3	0.62	0.42	0.68	0.8	2.13	3440	10320	31.19	20.28	32.62	304	381	379	-0.004
28	45.93	7.59	2.73	5.36	0.63	0.44	0.7	0.8	2.34	6880	14486	33.47	23.6	34.91	325	432	429	-0.0064
29	45.08	8.53	1.78	4.9	0.61	0.46	0.76	0.79	1.73	3440	10320	32.43	19.94	33.94	241	326	325	-0.0032
30	59.52	8.12	2.38	4.58	0.61	0.39	0.64	0.79	2.3	6880	14486	35.31	25.95	36.82	334	465	460	-0.0094
31	46.96	6.83	2.19	4.59	0.72	0.6	0.83	0.88	2.01	3900	11700	26.79	18.85	28.34	328	436	432	-0.01
32	46.82	9.44	2.83	5.93	0.65	0.39	0.6	0.82	2.42	6880	14920	30.33	21.66	31.84	368	504	500	-0.0078

33	52	8.95	2.41	4.62	0.6	0.41	0.68	0.78	2.22	6880	14486	33.79	23.94	35.29	343	473	470	-0.0058
34	53.83	6.69	2.28	5.17	0.71	0.49	0.69	0.87	2.16	6880	14920	34.66	24.68	36.28	274	413	412	-0.0035
35	51.99	7.27	1.83	5.22	0.63	0.53	0.85	0.8	1.85	6880	14486	37.26	26.4	38.85	260	379	377	-0.0052
36	43.3	8.71	1.82	4.76	0.61	0.46	0.76	0.79	1.73	3440	10320	31.98	19.51	33.44	242	329	326	-0.0078
37	45.47	9.14	2.72	5.8	0.65	0.39	0.6	0.82	2.33	6880	14486	30.67	22.09	32.19	324	454	451	-0.0068
38	43.29	8.72	1.82	4.7	0.61	0.46	0.76	0.79	1.73	3440	10320	31.99	19.52	33.46	241	327	326	-0.0038
39	45.87	7.72	2.77	5.35	0.61	0.42	0.7	0.78	2.37	3900	11700	31.11	19.65	32.6	346	430	427	-0.0053
40	55.59	8.6	2.03	4.81	0.64	0.51	0.81	0.81	2.02	6880	14920	33.06	23.25	34.67	361	514	511	-0.0067
41	48.31	7.53	2.07	4.29	0.67	0.53	0.79	0.84	1.95	3900	11700	30.65	19.69	32.22	316	413	409	-0.0086
42	57.74	7.16	2.44	4.88	0.59	0.38	0.65	0.77	2.31	6880	14920	38.06	28.17	39.59	284	400	398	-0.0063
43	51.67	5.88	2.31	4.49	0.71	0.6	0.85	0.87	2.15	3900	11700	30.1	20.24	31.56	334	437	435	-0.0038
44	63.3	7.89	2.45	4.87	0.59	0.37	0.62	0.77	2.39	3440	10320	30.65	20.49	32	366	462	458	-0.0085
45	52.67	7.44	1.86	5.32	0.63	0.51	0.81	0.8	1.87	6880	14486	37.47	26.49	39.05	262	383	381	-0.0052
46	47.26	6.9	2.21	4.61	0.72	0.6	0.83	0.88	2.03	3900	11700	26.72	18.84	28.27	336	444	440	-0.0092
47	47.23	6.85	2.2	4.61	0.72	0.6	0.83	0.88	2.02	3900	11700	26.69	18.85	28.25	333	441	437	-0.0099
48	44.65	8.92	1.9	4.82	0.61	0.46	0.76	0.79	1.8	3900	11700	31.88	19.86	33.39	270	361	358	-0.0091
49	56.74	7.67	2.24	4.78	0.61	0.39	0.64	0.79	2.17	3440	10320	32.27	21.15	33.69	318	393	391	-0.0068
50	46.85	10.1	3.01	6.3	0.57	0.32	0.56	0.76	2.54	6880	14486	33.48	23.83	34.89	363	470	467	-0.0076
51	54.87	7.94	1.73	4.28	0.65	0.54	0.83	0.82	1.82	3440	10320	29.54	19.96	31.08	327	420	418	-0.0037
52	48.25	7.02	2.25	4.71	0.72	0.6	0.83	0.88	2.07	6880	14486	26.52	20.6	28.14	316	471	468	-0.0056
53	54.26	7.84	1.71	4.27	0.65	0.54	0.83	0.82	1.8	3440	10320	29.93	20.05	31.48	321	408	404	-0.0094
54	54.13	8.26	2.25	5.22	0.67	0.46	0.7	0.84	2.15	6880	14920	32.96	23.35	34.58	352	484	480	-0.0094
55	49.33	7.53	2.03	4.11	0.73	0.54	0.74	0.88	1.94	6880	14920	31.77	22.48	33.51	315	421	418	-0.0052
56	52.15	6.07	1.8	4.07	0.72	0.56	0.77	0.88	1.83	3440	10320	32.54	21.04	34.12	243	326	325	-0.0046
57	63.33	6.47	2.43	4.99	0.57	0.37	0.65	0.76	2.38	3900	11700	35.51	23.24	36.88	290	383	382	-0.0037
58	51.19	8.92	2.65	4.96	0.66	0.4	0.61	0.83	2.36	6880	14920	32.1	22.66	33.63	349	504	501	-0.0063
59	48.59	7.77	2.13	4.28	0.64	0.51	0.8	0.81	1.99	3900	11700	32.1	19.9	33.59	321	419	416	-0.0069
60	58.97	6.05	1.93	4.57	0.59	0.48	0.82	0.77	2	3440	10320	35.3	23.02	36.71	257	342	340	-0.0045
61	49.74	7.52	2.03	4.14	0.73	0.54	0.75	0.88	1.94	6880	14920	31.73	22.5	33.47	315	424	422	-0.0038
62	51.21	8.9	2.64	4.96	0.66	0.41	0.62	0.83	2.36	6880	14920	32.07	22.64	33.61	349	505	502	-0.0063
63	46.71	9.43	2.83	5.92	0.65	0.39	0.6	0.82	2.42	6880	14920	30.44	21.71	31.96	364	500	497	-0.0068
64	48.55	7.76	2.13	4.28	0.64	0.51	0.8	0.81	1.99	3900	11700	31.44	19.87	32.94	321	419	416	-0.0081
65	48	7.81	2.14	4.29	0.64	0.51	0.8	0.81	2	3900	11700	31.12	19.7	32.64	323	422	418	-0.0086
66	57.28	8.36	2.33	4.78	0.56	0.43	0.77	0.75	2.24	6880	14920	35.85	25.33	37.33	357	497	493	-0.0071
67	53.44	8.22	2.24	5.15	0.67	0.46	0.7	0.83	2.13	6880	14920	33.18	23.4	34.79	344	470	468	-0.0038
68	46.2	8.89	2.22	4.82	0.68	0.45	0.67	0.84	2.02	6880	14486	32.82	22.61	34.45	319	425	422	-0.0073

69	42.99	8.07	2.1	4.96	0.57	0.45	0.79	0.76	1.9	6880	14486	34.88	24.51	36.42	240	339	338	-0.0052
70	45.96	8.25	2.62	6.44	0.6	0.43	0.72	0.78	2.27	6880	14486	32.33	22.28	33.85	325	439	437	-0.0055
71	53.84	8.53	2.11	5	0.56	0.45	0.8	0.74	2.05	3440	10320	30.25	19.03	31.94	351	445	443	-0.005
72	53.04	7.5	1.87	5.45	0.63	0.51	0.81	0.8	1.89	6880	14486	36.94	26.18	38.53	268	390	389	-0.0041
73	48.71	7.78	2.14	4.29	0.64	0.51	0.8	0.81	2	3900	11700	31.34	19.84	32.84	325	423	420	-0.0082
74	48.02	6.59	2.1	5.02	0.74	0.6	0.8	0.9	1.97	3900	11700	26.05	18.69	27.7	314	410	407	-0.0068
75	54.7	7.05	1.99	4.94	0.63	0.49	0.78	0.8	1.99	3440	10320	30.8	20.17	32.27	311	390	386	-0.0095
76	45.82	8.6	2.23	5.29	0.57	0.45	0.79	0.76	2.03	6880	14486	32.94	22.79	34.45	307	411	409	-0.0063
77	49.54	8.1	2.07	4.22	0.61	0.52	0.85	0.79	1.97	6880	14486	33.24	23.36	34.81	336	447	444	-0.0066
78	51.87	8.21	2.78	6.44	0.56	0.36	0.64	0.75	2.45	6880	14486	34.93	24.57	36.37	334	439	437	-0.0043
79	45.36	8.53	2.45	5.68	0.57	0.45	0.79	0.75	2.16	6880	14486	34.84	23.75	36.51	330	442	438	-0.0099
80	47.31	9.48	2.34	4.51	0.61	0.45	0.74	0.79	2.11	6880	14486	32.91	22.49	34.43	333	486	482	-0.0098
81	47.11	9.06	2.69	5.97	0.72	0.43	0.6	0.88	2.34	6880	14920	27.99	20.87	29.52	368	508	505	-0.0067
82	55.73	9.16	2.16	4.82	0.64	0.46	0.71	0.81	2.1	6880	14920	32.81	23.23	34.42	364	517	515	-0.0056
83	52.79	5.9	2.36	5.33	0.63	0.51	0.81	0.8	2.2	6880	14486	37.98	27.38	39.49	269	386	383	-0.0062
84	58.85	7.03	2.25	4.61	0.59	0.35	0.61	0.77	2.2	3440	10320	34.81	22.97	36.22	254	340	338	-0.0047
85	51.21	8.9	2.64	4.96	0.66	0.41	0.62	0.83	2.36	6880	14920	32.07	22.64	33.61	349	505	502	-0.0063
86	57.67	6.9	2.58	4.46	0.6	0.47	0.79	0.78	2.4	6880	14920	35.65	25.64	37.11	358	495	492	-0.0051
87	44.58	7.63	2.6	5.65	0.65	0.4	0.62	0.82	2.24	6880	14486	34.73	24.9	36.26	250	363	361	-0.0045
88	52.36	8.98	2.42	4.65	0.6	0.41	0.68	0.78	2.23	6880	14486	33.68	23.89	35.18	351	481	476	-0.009
89	51.69	7.79	2.37	4.39	0.62	0.42	0.68	0.8	2.19	6880	14486	36.35	25.67	37.9	314	413	410	-0.0069
90	47.27	9.54	2.84	6.39	0.57	0.36	0.62	0.76	2.43	6880	14486	33.54	23.69	34.95	365	473	468	-0.0095
91	57.46	6.88	2.57	4.45	0.6	0.47	0.79	0.78	2.39	6880	14920	35.55	25.75	37.01	353	490	487	-0.0067
92	45.65	10	2.63	5.27	0.57	0.33	0.58	0.76	2.27	6880	14486	32.81	23.22	34.29	308	411	409	-0.0061
93	46.3	8.02	2.38	4.46	0.75	0.49	0.65	0.9	2.13	6880	14486	29.66	21.58	31.36	312	446	444	-0.0038
94	46.1	7.99	2.37	4.44	0.75	0.49	0.65	0.9	2.12	6880	14486	29.84	21.63	31.52	307	440	438	-0.0038
95	45.26	9.2	2.22	5.73	0.65	0.4	0.62	0.82	2.01	6880	14486	33.9	23.71	35.47	260	381	378	-0.0098
96	45.63	10.2	2.20	4.48	0.59	0.45	0.76	0.77	2.02	3900	11700	28.78	18.49	30.27	365	482	479	-0.0068
97	53.01	8.15	2.22	5.11	0.67	0.46	0.7	0.83	2.11	6880	14920	33.46	23.51	35.07	335	461	457	-0.0078
98	54.94	9.04	2.13	4.75	0.64	0.46	0.71	0.81	2.08	6880	14920	33.29	23.43	34.89	352	497	493	-0.0071
99	50.87	8.88	2.26	4.18	0.62	0.39	0.63	0.8	2.11	3440	10320	29.95	19.53	31.38	313	414	411	-0.0057

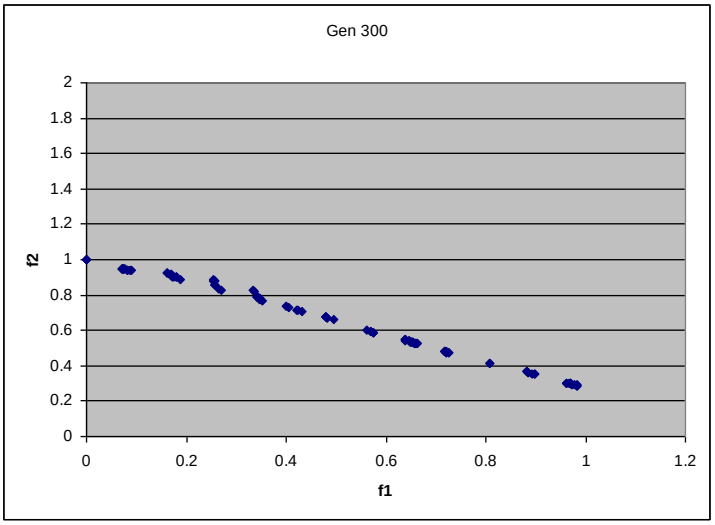
Prilog 4: Primjer izlaznih parametara samouravnoteženog dijela projektnog modela (dio II)

PB	VD	V_{RS}	VTA	VTR	A_{TA}	A_{TR}	AGRE	KW24P	KWDA	KWD	KG	BM	GM	CGMB	AM	LDP	LZP	PPDP	PPZP
0	231	226	1383	1382	628	628	0.0006	238	203	416	3.52	3.28	1.17	0.159	0.28	51.4	40.52	322.77	205.31
1	287	227	1449	1448	658	658	0.0003	254	222	416	3.55	2.74	0.35	0.049	0.3	54.5	43.32	346.66	252.82
2	290	233	1442	1446	655	657	-0.0026	247	215	416	3.63	2.96	0.55	0.075	0.3	54.6	43.52	336.87	255.57
3	324	232	1416	1416	643	644	-0.0003	258	216	416	3.58	2.55	0.43	0.065	0.37	54.2	44.44	327.42	231.6
4	307	236	1552	1553	705	706	-0.0006	282	239	416	3.61	3.41	1.32	0.156	0.38	60.4	47.13	423.41	264.39
5	307	225	1507	1507	685	685	0	272	232	416	3.9	3.58	1.07	0.126	0.4	49	40.52	374.81	252.23
6	398	224	1424	1425	647	648	-0.0004	255	216	416	3.74	3.58	1.24	0.146	0.42	46.9	40.1	339.44	228.13
7	388	229	1454	1459	661	663	-0.0033	252	210	416	3.31	3.28	1.45	0.176	0.43	57.8	39.38	393.11	206.37
8	336	233	1402	1406	637	639	-0.0028	260	219	416	3.57	3.29	1.28	0.164	0.44	53.6	40.54	346.51	208.4
9	372	230	1477	1484	671	675	-0.0049	271	231	416	4.12	3.19	0.62	0.073	0.44	46.5	41.04	355	258.06
10	383	231	1345	1350	611	614	-0.0039	227	195	416	3.92	3.15	0.9	0.127	0.5	50.8	41.9	319.51	211.37
11	310	226	1438	1438	654	654	-0.0001	252	213	416	3.5	3.24	0.91	0.12	0.5	51.3	42.1	351.4	248.94
12	273	227	1424	1425	647	648	-0.0007	251	216	416	3.26	3.28	1.39	0.183	0.24	54.1	42.11	339.48	229.02
13	338	231	1488	1489	677	677	-0.0006	253	216	416	3.65	2.25	0.2	0.031	0.38	64.5	45.37	372.44	254.15
14	246	227	1398	1398	635	635	-0.0001	234	200	416	3.25	3.32	1.44	0.191	0.24	53.7	42.08	355.03	225.5
15	251	230	1446	1451	657	659	-0.0033	266	225	416	4.24	2.89	0.19	0.023	0.4	46.1	38.66	346.59	210.9
16	236	226	1619	1625	736	739	-0.0036	275	233	416	4.48	4.42	1.86	0.195	0.43	48.7	39.25	399.6	252.34
17	317	237	1518	1514	690	688	0.0024	267	230	416	3.8	2.27	0.09	0.014	0.37	65.2	45.78	360.27	260.45
18	358	233	1426	1430	648	650	-0.003	265	233	416	3.6	3.06	0.84	0.13	0.31	56.9	45.88	307.1	259.26
19	340	226	1348	1349	613	613	-0.001	237	202	416	3.63	2.03	0.01	0.002	0.28	52.8	43.44	281.51	205.33
20	416	225	1329	1326	604	603	0.0023	225	190	416	3.57	2.08	0.14	0.022	0.28	50.9	43.31	271.33	205.08
21	289	233	1478	1479	672	672	-0.0006	268	236	416	3.69	2.99	0.53	0.072	0.29	55.1	43.37	343.74	259.14
22	202	230	1497	1496	680	680	0.0005	273	232	416	4.49	3.12	0.32	0.039	0.36	47.3	40.62	346.55	234.33
23	451	232	1371	1371	623	623	0.0003	246	206	416	3.39	3.27	1.44	0.185	0.45	53.2	40.89	333.68	208.34
24	473	223	1387	1385	630	630	0.0013	236	203	416	3.76	3.45	1.04	0.128	0.43	44.4	40.64	320.31	224.24
25	370	231	1474	1474	670	670	-0.0003	261	221	416	3.97	4.49	2.12	0.228	0.44	47.6	39.69	371.93	234.54
26	321	228	1358	1358	617	617	0.0002	248	208	416	3	2.64	0.83	0.119	0.32	56.6	47.73	346.55	230.65
27	452	226	1391	1392	632	633	-0.0007	248	216	416	3.62	3.22	1.11	0.147	0.34	52.1	48.2	337.39	256.88
28	484	224	1444	1444	656	656	0.0001	260	219	416	3.91	2.64	0.5	0.066	0.35	47.3	42.22	318.47	248.38
29	242	230	1383	1378	629	627	0.0032	239	208	416	3.7	4.65	2.08	0.244	0.5	46.4	38.93	354.12	210.96
30	321	236	1471	1471	669	669	0	260	218	416	3.35	3.75	2	0.246	0.4	61.3	40.31	407.49	209.56
31	389	224	1334	1334	606	606	-0.0001	232	198	416	3.3	2.33	0.36	0.053	0.2	48.4	43.49	277.02	228.1

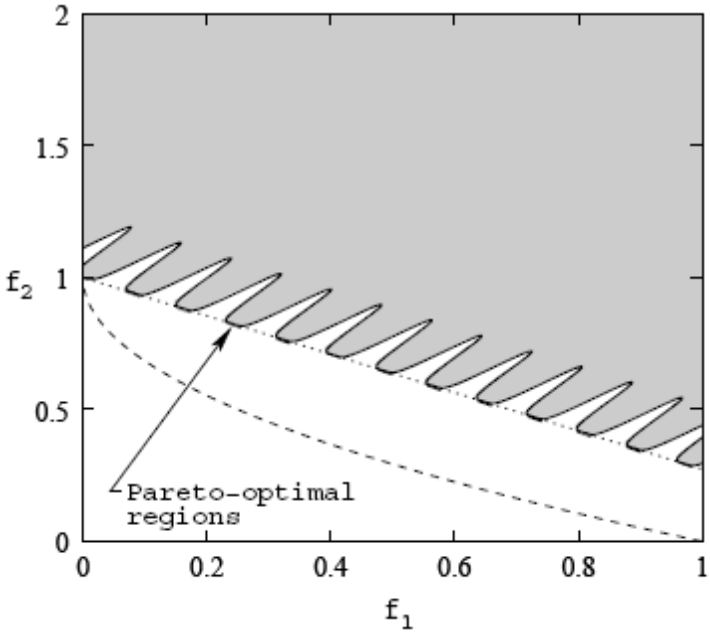
32	293	231	1552	1551	706	705	0.0011	279	236	416	4.13	4.64	2.42	0.256	0.32	48.2	39.5	399.58	234.65
33	419	233	1505	1505	684	684	0.0002	271	230	416	3.5	4.2	2.29	0.256	0.4	53.6	41.04	387.61	259.15
34	283	233	1448	1442	658	656	0.0037	271	229	416	3.52	2.55	0.5	0.074	0.34	55.4	44.18	340.75	231.8
35	176	232	1442	1443	656	656	-0.0001	272	233	416	3.69	2.97	0.39	0.054	0.47	53.6	42.52	361.08	235.09
36	352	224	1380	1379	627	627	0.0002	226	196	416	3.63	4.74	2.27	0.26	0.5	44.6	39.85	327.63	227.84
37	361	225	1540	1540	700	700	-0.0002	261	220	416	3.98	4.53	2.39	0.261	0.35	46.8	39.81	362.53	252.02
38	354	229	1365	1361	620	619	0.0029	237	207	416	3.64	4.75	2.27	0.261	0.5	44.6	38.75	326.69	210.72
39	460	224	1447	1447	658	658	0.0005	249	213	416	3.96	2.66	0.51	0.066	0.31	47.2	42.02	321.65	248.39
40	196	234	1585	1586	721	721	-0.0001	279	237	416	3.44	3.97	1.78	0.207	0.34	57.3	41.3	432.41	259.63
41	502	225	1432	1432	651	651	-0.0002	238	204	416	3.24	3.07	1.11	0.148	0.31	49.8	42.66	308.91	252.2
42	502	229	1537	1537	699	699	0	276	233	416	3.66	2.8	0.77	0.107	0.46	59.5	49.39	357.15	281.67
43	471	226	1377	1378	626	626	-0.0006	237	203	416	3.3	1.59	-0.32	-0.05	0.21	53.2	46.56	279.96	225.17
44	198	232	1557	1556	708	707	0.0004	254	220	416	3.64	3.55	1.57	0.199	0.29	65.2	42.22	426.92	254.47
45	165	233	1487	1486	676	676	0.0003	269	229	416	3.74	3.2	0.61	0.082	0.48	54.3	42.66	357.58	259.02
46	404	224	1364	1364	620	620	0	251	216	416	3.35	2.35	0.34	0.05	0.19	48.7	43.33	281.33	228.15
47	385	224	1347	1354	612	615	-0.0049	238	204	416	3.33	2.34	0.34	0.049	0.19	48.7	43.43	279.72	228.14
48	276	224	1371	1376	623	625	-0.0032	236	203	416	3.49	4.79	2.51	0.281	0.46	46	43.93	344.66	232.9
49	231	229	1461	1465	664	666	-0.0026	253	220	416	3.8	3.55	1.25	0.163	0.36	58.4	47.82	393.86	257.8
50	300	226	1640	1643	746	747	-0.0015	276	234	416	4.48	5.27	2.88	0.284	0.46	48.3	38.78	412.97	252.37
51	202	234	1447	1442	658	656	0.0031	251	220	416	3.34	3.87	1.58	0.199	0.3	56.5	41.93	375.07	235.62
52	402	225	1357	1356	617	616	0.0004	246	207	416	3.23	2.4	0.53	0.076	0.18	49.7	43.04	292.95	228.32
53	198	228	1411	1412	642	642	-0.0002	228	197	416	3.24	3.81	1.61	0.206	0.31	55.9	41.52	366.98	229.33
54	163	228	1544	1545	702	702	-0.0005	279	237	416	3.63	3.85	1.68	0.204	0.34	55.8	47.05	391.78	281.3
55	460	226	1379	1376	627	626	0.0016	248	208	416	3.17	3.4	1.51	0.2	0.32	50.8	46.59	328.71	229.9
56	408	226	1315	1314	598	597	0.0008	214	184	416	3.19	2.39	0.32	0.053	0.34	53.7	50.16	274.02	230.1
57	317	237	1518	1514	690	688	0.0024	267	230	416	3.8	2.27	0.09	0.014	0.37	65.2	45.78	360.27	260.45
58	453	233	1537	1538	699	699	-0.0004	277	234	416	3.56	4.33	2.55	0.285	0.34	52.7	41.01	383.96	259.02
59	499	225	1408	1409	640	640	-0.0003	242	208	416	3.29	3.12	1.17	0.15	0.34	50	42.26	318.59	252.28
60	366	235	1449	1447	658	658	0.0014	264	231	416	3.74	1.98	-0.55	-0.09	0.38	60.7	46.84	317.78	256.26
61	474	231	1397	1394	635	634	0.0019	261	221	416	3.25	3.38	1.41	0.187	0.32	51.2	41.23	315.46	211.5
62	458	233	1545	1545	702	702	-0.0004	288	245	416	3.56	4.29	2.5	0.281	0.33	52.7	41.04	383.38	259.02
63	294	231	1542	1540	701	700	0.0011	284	241	416	4.11	4.63	2.43	0.258	0.33	48.1	39.51	398.15	234.64
64	484	225	1408	1408	640	640	-0.0001	240	206	416	3.29	3.11	1.15	0.149	0.33	50	42.29	333.35	252.27
65	505	225	1423	1423	647	647	0.0003	245	211	416	3.31	3.13	1.16	0.148	0.32	49.4	42.19	331.51	248.72
66	379	235	1530	1529	695	695	0.0003	277	234	416	3.5	3.33	1.32	0.158	0.39	59	41.36	407.16	236.04

67	160	233	1484	1483	674	674	0.0006	264	222	416	3.58	3.83	1.7	0.207	0.35	55	39.63	383.69	212.15
68	286	225	1387	1387	630	630	0	238	199	416	3.43	4.74	2.76	0.311	0.42	47.6	38.21	365.83	204.99
69	534	223	1368	1366	622	621	0.001	241	203	416	3.67	3.39	1.05	0.131	0.52	44.3	40.75	303.25	227.69
70	201	230	1503	1502	683	683	0.0005	273	232	416	4.49	3.13	0.33	0.04	0.36	47.3	40.6	347.77	234.35
71	174	228	1501	1495	682	679	0.0043	245	213	416	3.72	3.69	1.3	0.153	0.32	55.5	46.23	417.45	257.5
72	137	233	1520	1515	691	688	0.0038	278	238	416	3.83	3.22	0.55	0.073	0.46	54.6	42.51	364.55	259.08
73	510	225	1426	1427	648	649	-0.0004	246	212	416	3.31	3.12	1.14	0.147	0.32	50.2	42.25	319.78	252.3
74	257	225	1370	1375	623	625	-0.0031	251	216	416	3.58	2.35	0.06	0.009	0.19	49.5	43.63	284.32	228.22
75	160	233	1399	1403	636	638	-0.0031	242	210	416	3.8	2.78	0.23	0.032	0.3	56.3	47.65	343.74	240.29
76	405	225	1450	1449	659	659	0.0001	264	224	416	3.8	3.62	1.23	0.143	0.42	47.2	39.98	345.51	228.19
77	509	226	1477	1477	671	671	0.0001	274	234	416	3.37	3.24	1.14	0.141	0.36	51	47.66	353.18	280.6
78	121	233	1529	1525	695	693	0.003	268	226	416	4.45	3.23	0.65	0.079	0.41	53.4	39.22	403.62	211.92
79	382	230	1505	1505	684	684	-0.0002	279	238	416	4.16	3.21	0.6	0.07	0.43	46.7	40.98	358.47	258.1
80	491	231	1464	1466	666	666	-0.0011	282	242	416	3.43	4.52	2.59	0.273	0.4	48.7	45.75	388.7	262.86
81	168	231	1549	1548	704	704	0.0005	291	248	416	4.07	4.61	2.34	0.258	0.26	48.5	39.85	391.35	234.64
82	196	235	1612	1612	733	733	0	281	238	416	3.47	4.77	2.7	0.294	0.35	57.4	40.64	454.85	259.73
83	409	226	1423	1430	647	650	-0.0048	276	234	416	3.84	1.58	-0.8	-0.13	0.38	54.4	52.03	302.1	280.75
84	366	235	1466	1466	666	666	0.0004	250	217	416	3.78	3.13	0.87	0.124	0.44	60.6	44.44	355.06	256.39
85	458	233	1545	1545	702	702	-0.0004	288	245	416	3.56	4.29	2.5	0.281	0.33	52.7	41.04	383.38	259.02
86	568	229	1452	1452	660	660	0.0002	272	228	416	3.31	2.03	0.36	0.052	0.31	59.4	49.95	351.75	254.34
87	412	224	1395	1392	634	633	0.0026	237	197	416	3.83	3.19	1.11	0.146	0.45	45.9	39.77	316.83	201.08
88	413	233	1524	1527	693	694	-0.0024	278	237	416	3.53	4.22	2.27	0.253	0.39	53.9	41	391.89	259.2
89	442	232	1373	1373	624	624	0.0001	247	206	416	3.4	3.3	1.46	0.187	0.45	53.2	40.83	335.14	208.35
90	214	226	1620	1626	736	739	-0.0038	275	233	416	4.48	4.42	1.86	0.195	0.43	48.7	39.24	416.45	252.35
91	570	235	1462	1462	665	665	0.0002	278	235	416	3.33	2.03	0.33	0.047	0.31	59.2	44.7	349.14	232.37
92	441	225	1485	1485	675	675	0	261	220	416	3.84	5.71	3.67	0.366	0.5	47	38.57	387.99	228.38
93	528	225	1464	1462	665	665	0.0012	272	231	416	3.34	3.8	2.01	0.25	0.28	47.7	41.83	326.12	251.98
94	522	224	1444	1442	656	656	0.0011	265	225	416	3.31	3.78	2.02	0.253	0.29	47.5	41.89	323.39	251.94
95	192	225	1495	1503	680	683	-0.0049	250	211	416	3.85	5.43	3.07	0.334	0.52	46.6	39.09	384.97	224.72
96	450	231	1518	1518	690	690	0.0001	264	230	416	3.44	5.38	3.37	0.329	0.34	47	38.97	403.14	231.12
97	169	233	1457	1458	662	663	-0.0008	256	215	416	3.53	3.8	1.71	0.21	0.36	54.6	39.73	377.38	212.08
98	173	234	1522	1523	692	692	-0.0004	261	219	416	3.37	4.71	2.71	0.3	0.37	56.6	38.69	442.1	212.5
99	400	227	1413	1414	642	643	-0.0002	233	201	416	3.38	4.8	2.93	0.33	0.35	52.4	46.16	389	257.11

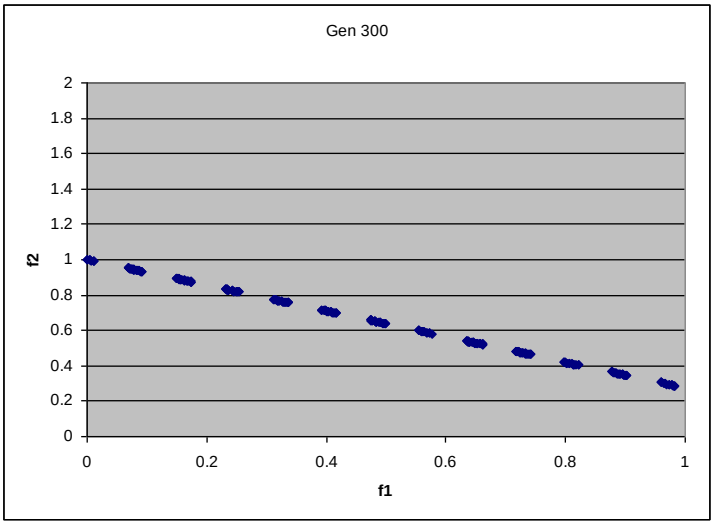
Prilog 5: Rezultati metoda NSGA-II i PP-NRGA na testnim funkcijama



PP-NRGA

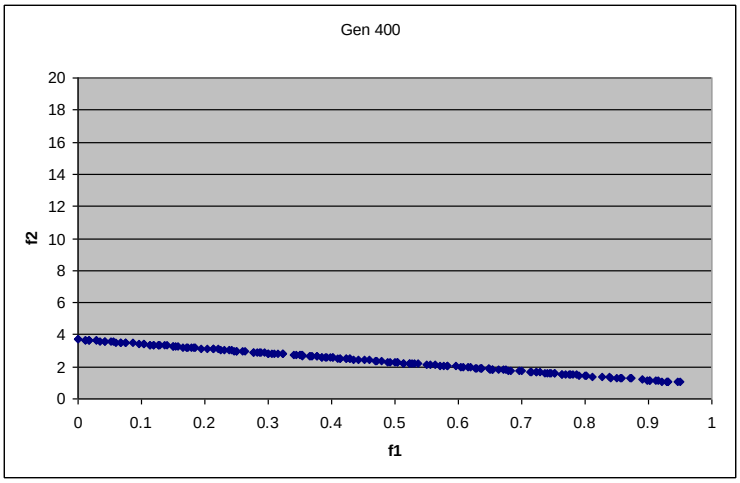


[34]

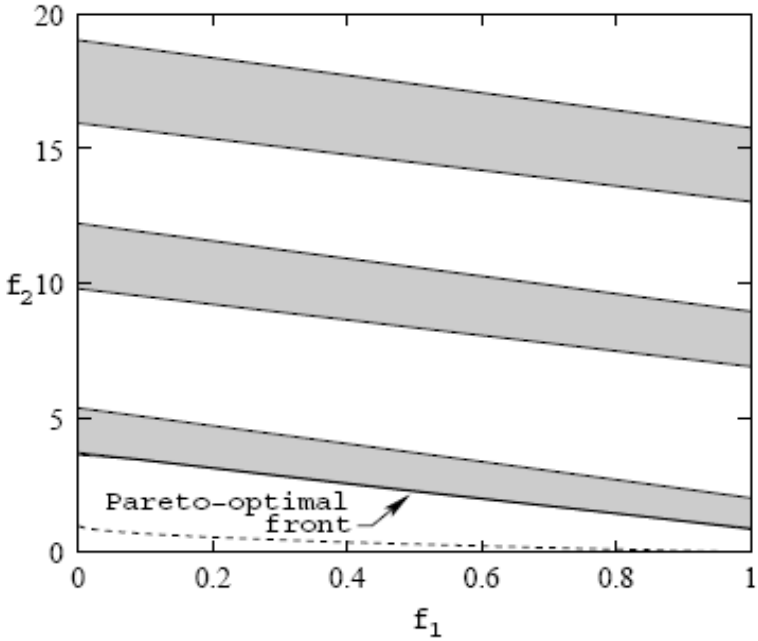


NSGA-II

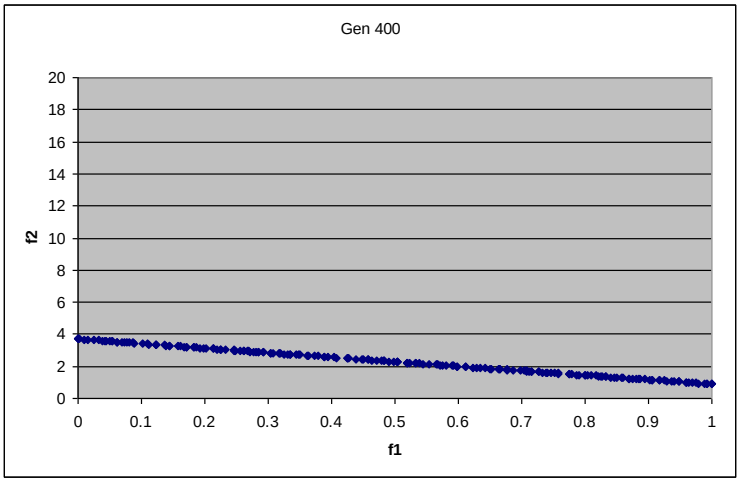
Slika 63. Rezultati PP-NRGA i NSGA-II metode s testnim funkcijama iz [34] (I)



PP-NRGA

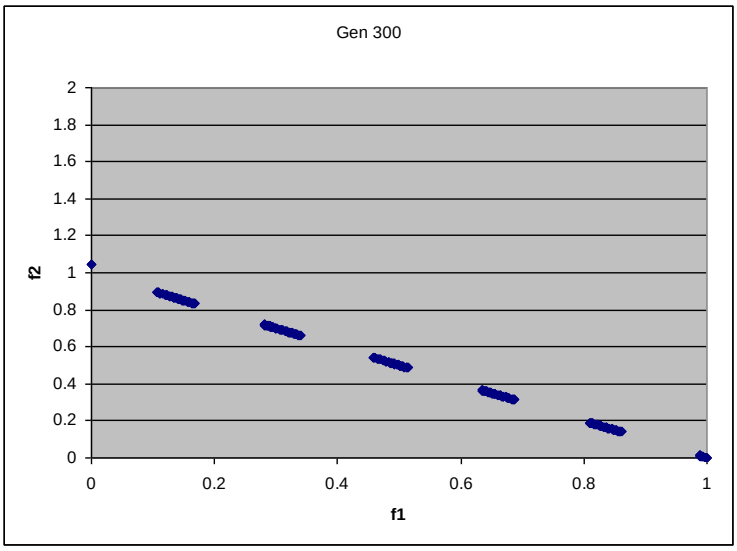


[34]

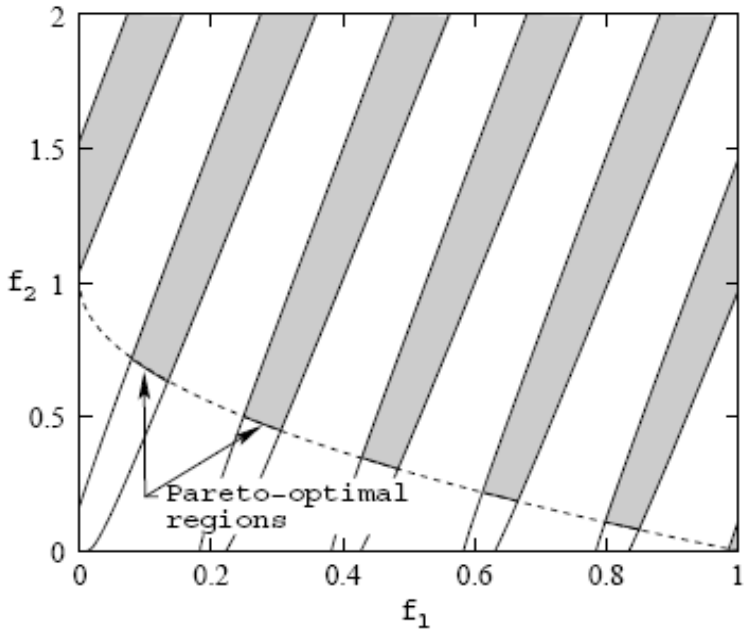


NSGA-II

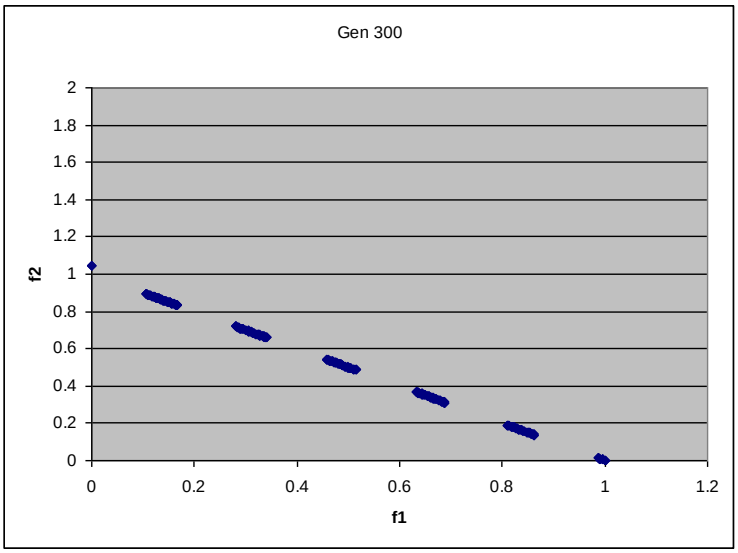
Slika 64. Rezultati PP-NRGA i NSGA-II metode s testnim funk. iz [34] (II)



PP-NRGA



[34]



NSGA-II

Slika 65. Rezultati PP-NRGA i NSGA-II metode s testnim funk. iz [34] (III)

Prilog 6: Značajke opcija pogona projektnog modela višenamjenskog ratnog broda

Opcija 1 i 2: CODOG + obični propeler +CPP

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	VPT [m]	VMM [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
2	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
3	PT GE LM 1600	14920	10.91	1.40	15.27	6.80	2.40	16.32	2.80	1.90	2.88	7000	228
4	RL		2.24	0.68	1.53	1.28	1.47	1.87	1.90				
5	RD		2.24	0.68	1.53	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
	UK. MASA		46.16	t	39.78			34.13		2.95	4.46		
	P_{ZUI}		7.41	m2									
	V_{PT}		0.86	m									
	P_{PAT}		6880.00	kW									
	P_{MCR}		14920.00	kW									

Značenje kratica:
V_{PT} – vertikalni položaj težišta od osnovice
V_{MM} – moment mase
P_{ZUI} – površina usisa i ispuha
P_{PAT} – snaga kod ophodne brzine
P_{MCR} – snaga kod maksimalne kontinuirane brzine

Opcija 3: CODOG + waterjet

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	V_{PT} [m]	V_{MM} [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
2	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
3	PT GE LM 1600	14920	10.91	1.40	15.27	6.80	2.40	16.32	2.80	1.90	2.88	7000	228
4	RL		2.24	0.68	1.53	1.28	1.47	1.87	1.90				
5	RD		2.24	0.68	1.53	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
8	waterjet Kamewa S3-80	3000-7400	5.81	1.00	5.81	5.16	1.00	5.16	1.70				
9	waterjet Kamewa S3-80	3000-7400	5.81	1.00	5.81	5.16	1.00	5.16	1.70				
		UK. MASA	60.39		51.40			34.13	m 2	2.95	4.46		
		P_{ZUI}	7.41	m2									
		V_{PT}	0.85	m									
		P_{PAT}	6880.00	kW									
		P_{MCR}	14920.00	kW									

Opcija 4 i 5: CODAG + obični propeler i CPP

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	VPT [m]	VMM [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
2	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
3	PT VC TF50A	3803	2.10	0.50	1.05	4.19	1.11	4.66	2.10	0.48	0.72	16000	280
4	PT VC TF50A	3803	2.10	1.50	3.15			0.00		0.48	0.72	16000	280
5	RL		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	RD		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
8	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
		UK. MASA	36.11	t	27.69			22.46		2.00	3.02		
		PZUI	5.02	m2									
		VPT	0.77	m									
		Pophodnje	6880.00	kW									
		PMCR	14486.00	kW									

Opcija 6: CODAG + waterjet

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	V_{PT} [m]	V_{MM} [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
2	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
3	PT VC TF50A	3803	2.10	0.50	1.05	4.19	1.11	4.66	2.10	0.48	0.72	16000	280
4	PT VC TF50A	3803	2.10	1.50	3.15					0.48	0.72	16000	280
5	RL		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	RD		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
8	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
9	waterjet Kamewa S3-80	3000-7400	5.81	1.00	5.81	5.16	1.00	5.16	1.70				
10	waterjet Kamewa S3-80	3000-7400	5.81	1.00	5.81	5.16	1.00	5.16	1.70				
		UK. MASA	50.35	t	39.31			22.46		2.00	3.02		
		P_{ZUI}	5.02	m2									
		V_{PT}	0.78	m									
		P_{PAT}	6880.00	kW									
		P_{MCR}	14486.00	kW									

Opcija 7 i 8: CODAD + obični propeler i CPP

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	V_{PT} [m]	V_{MM} [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
2	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
3	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
4	RL		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
5	RD		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	RS		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
8	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
		UK. MASA	44.25	t	34.19			24.61		1.62	2.45		
		P_{ZUI}	4.06	m2									
		V_{PT}	0.77	m									
		P_{PAT}	3440.00	kW									
		P_{MCR}	10320.00	kW									

Opcija 9: CODAD + waterjet

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	V_{PT} [m]	V_{MM} [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
2	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
3	DMD MTU 16V 4000 M93L	3440	9.35	1.04	9.68	3.37	1.47	4.94	2.53	0.48	0.72	2100	227
4	RL		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
5	RD		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	RS		1.49	0.68	1.02	1.28	1.47	1.87	1.90				
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
8	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
9	waterjet Kamewa S3-56	1500-3500	2.25	0.60	1.35	3.75	0.80	3.00	1.20				
10	waterjet Kamewa S3-56	1500-3500	2.25	0.60	1.35	3.75	0.80	3.00	1.20				
11	waterjet Kamewa S3-56	1500-3500	2.25	0.60	1.35	3.75	0.80	3.00	1.20				
		UK. MASA	52.52	t	38.24			24.61		1.62	2.45		
		P_{ZUI}	4.06	m2						PZUI	4.063		
		V_{PT}	0.73	m									
		P_{PAT}	3440.00	kW									
		P_{MCR}	10320.00	kW									

Opcija 10 i 11: CODAD + obični propeler i CPP

Rbr	Naziv	Snaga [kW]	Masa [t]	V_{PT} [m]	V_{MM} [mt]	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m2]	Visina [m]	Usis [m2]	Ispuh [m2]	Br. okr.	Potr. gor.
1	DML MTU 20V 4000 M93	3900	11.98	1.04	12.40	3.37	1.47	4.94	2.53	0.57	0.86	2100	213
2	DML MTU 20V 4000 M93	3900	11.98	1.04	12.40	3.37	1.47	4.94	2.53	0.57	0.86	2100	213
3	DML MTU 20V 4000 M93	3900	11.98	1.04	12.40	3.37	1.47	4.94	2.53	0.57	0.86	2100	213
4	RL		2.71	0.68	1.85	1.28	1.47	1.87	1.90				
5	RD		2.71	0.68	1.85	1.28	1.47	1.87	1.90				
6	RS		2.71	0.68	1.85	1.28	1.47	1.87	1.90				
7	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
8	DA CAT C9	208	1.80	0.58	1.05	2.11	1.00	2.10	1.17	0.10	0.14	1500	47,1 l/h
		UK. MASA	58.38	t	44.85			24.61		1.90	2.88		
		P_{ZUI}	4.78	m2									
		V_{PT}	0.77	m									
		P_{PAT}	3900.00	kW									
		P_{MCR}	11700.00	kW									

Sažetak opcija propulzije

Rbr	Naziv	P_{PAT} [kW]	P_{MCR} [kW]	Masa [t]	V_{PT} [m]	P_{ZUI} [m2]	Z_{ES} [kW]
1	CODOG + obični propeler	6880.00	14920.00	46.16	0.86	7.41	15.00
2	CODOG + CPP	6880.00	14920.00	46.16	0.86	7.41	15.00
3	CODOG + waterjet	6880.00	14920.00	60.39	0.85	7.41	15.00
4	CODAG + obični propeler	6880.00	14486.00	36.11	0.77	5.02	15.00
5	CODAG + CPP	6880.00	14486.00	36.11	0.77	5.02	15.00
6	CODAG + waterjet	6880.00	14486.00	50.35	0.78	5.02	15.00
7	CODAD + obični propeler	3440.00	10320.00	0.77	0.95	4.06	15.00
8	CODAD + CPP	3440.00	10320.00	0.77	0.95	4.06	15.00
9	CODAD + waterjet	3440.00	10320.00	52.52	0.73	4.06	15.00
10	CODAD + obični propeler	3900.00	11700.00	58.38	0.77	4.78	15.00
11	CODAD + CPP	3900.00	11700.00	58.38	0.77	4.78	15.00

Prilog 7: Proračun matrica usporedbe parova za hijerarhijsku strukturu sa Slike 28

1. Određivanje parcijalnih težina za prvu razinu (NAPAD/OBRANA; POKRETLJIVOST; PREŽIVLJAVANJE)

	NAP / OBR	POKR	PREŽ	N-ti korijen	Težine
NAP / OBR	1	3	3	2.080	0.600
POKR	0.333	1	1	0.693	0.200
PREŽ	0.333	1	1	0.693	0.200
				3.467	1.000

2. Određivanje parcijalnih težina za čvor NAPAD / OBRANA (ASMS; BGUN; LTOR; AAS)

	ASMS	BGUN	LTOR	AAS	N-ti korijen	Težine
ASMS	1	7	4	2	2.736	0.507
BGUN	0.143	1	0.2	0.2	0.275	0.051
LTOR	0.25	5	1	0.5	0.889	0.165
AAS	0.5	5	2	1	1.495	0.277
					5.395	1.000

3. Određivanje parcijalnih težina za čvor POKRETLJIVOST (maksimalna održiva brzina; ophodna brzina; doplov; autonomnost)

	Max. održiva brzina	Brzina ophodnje	Doplov	Autonomnost	N-ti korijen	Težine
Max. održiva brzina	1.000	0.500	0.250	0.250	0.420	0.095
Brzina ophodnje	2.000	1.000	1.000	2.000	1.414	0.319
Doplov	4.000	1.000	1.000	1.000	1.414	0.319
Autonomnost	4.000	0.500	1.000	1.000	1.189	0.268
					4.438	1.000

4. Određivanje parcijalnih težina za čvor preživljavanje (RS; IRS; NKB; HAS; EMS)

	RS	IRS	NKB	HAS	EMS	N-ti korijen	Težine
RS	1.000	4.000	4.000	5.000	4.000	3.170	0.510
IRS	0.250	1.000	2.000	1.000	1.000	0.871	0.140
NKB	0.250	0.500	1.000	2.000	1.000	0.758	0.122
HAS	0.200	1.000	0.500	1.000	0.500	0.549	0.088
EMS	0.250	1.000	1.000	2.000	1.000	0.871	0.140
						6.218	1.000

Prilog 8: Izlazni rezultati programa Monako PRB (I dio)

Značenje kratica:
PB – redni broj projekta
PR – rang projekta
SO – suma prekoračenja ograničenja
L_{WL} – duljina broda na VL [m]
B – širina broda na gl. rebru na VL [m]
T – gaz broda na glavnom rebru na VL [m]
H_{T10} – visina trupa broda na gl. rebru [m]
C_P – uzdužni prizmatički koeficijent
C_B – koeficijent punoće
C_M – koeficijent punoće glavnog rebra
C_{WP} – koeficijent punoće vodne linije
D_P – promjer propulzora [m]
P_{PAT} – snaga kod ophodne brzine [kW]
P_{MCR} – snaga kod maksimalne kontinuirane brzine [kW]
U_S – maksimalna kontinuirana brzina [čv]
U_E – ophodna ekonomična brzina [čv]
U_{MAX} – maksimalna brzina [čv]
W_{LS} – masa lakog broda [t]
W_T – masa istisnine broda [t]

Generacija 2

PB	PR	SO	L_{WL}	B	T	H_{T10}	C_P	C_B	C_M	C_{WP}	D_P	P_{PAT}	P_{MCR}	U_S	U_E	U_{MAX}	W_{LS}	W_T
0	1	0	47,53	7,25	2,43	5,31	0,69	0,51	0,75	0,85	2,17	3900	11700	28,41	19,2	29,91	329	443
1	1	0	47,41	7,23	2,42	5,3	0,69	0,51	0,75	0,85	2,17	3900	11700	28,49	19,3	30	329	439
2	2	0,00025	49,53	6,86	2,08	4,39	0,74	0,54	0,74	0,89	1,98	3440	10320	30,11	20	31,85	301	395
3	3	0,00026	52,18	7,24	2,2	4,65	0,74	0,54	0,74	0,89	2,08	6880	14920	31,63	22,7	33,35	330	465
4	4	0,00035	51	7,57	2,04	4,75	0,71	0,59	0,82	0,87	1,97	6880	14486	31,68	22,4	33,39	340	476
5	5	0,00036	47,64	7,51	2,6	5,96	0,68	0,5	0,73	0,85	2,28	6880	14920	31,97	22,3	33,51	341	477
6	6	0,00038	50,64	7,92	2,71	5,62	0,58	0,43	0,74	0,76	2,39	6880	14486	31,13	22,4	32,5	340	481
7	7	0,00039	49,78	7,46	1,99	4,59	0,72	0,59	0,83	0,88	1,92	6880	14486	31,39	22,3	33,14	314	452
8	8	0,00042	49,67	7,45	1,98	4,58	0,72	0,59	0,83	0,88	1,91	6880	14486	31,49	22,3	33,23	312	448
9	9	0,00051	50,4	7,48	2,02	4,7	0,71	0,58	0,82	0,87	1,95	6880	14486	32,21	22,6	33,94	329	459
10	10	0,00056	55,03	7,43	2,53	5,04	0,59	0,38	0,63	0,77	2,34	3440	10320	30,54	19,4	32,18	324	402

11	11	0,00057	54,74	7,5	2,56	5,01	0,59	0,37	0,63	0,77	2,35	3440	10320	30,46	19,4	31,89	325	402
12	12	0,00077	60,29	6,91	2,26	4,69	0,62	0,45	0,72	0,8	2,23	6880	14486	34,22	24,9	35,68	321	435
13	13	0,00082	53,98	7,32	2,48	4,91	0,59	0,38	0,63	0,77	2,29	3440	10320	31,15	19,7	32,51	309	380
14	14	0,00083	54,12	7,37	2	4,72	0,64	0,51	0,8	0,81	1,98	6880	14486	32,62	23,4	34,17	314	417
15	15	0,00087	47,11	8,56	2,89	6,29	0,56	0,38	0,68	0,75	2,46	6880	14486	31,51	22,2	32,97	331	461
16	16	0,00094	53,77	7,39	1,99	4,69	0,64	0,5	0,78	0,81	1,98	6880	14486	32,77	23,4	34,32	307	410
17	17	0,00102	46,59	8,49	2,85	6,23	0,56	0,39	0,68	0,75	2,43	6880	14486	31,88	22,4	33,22	322	448
18	18	0,00117	44,12	8,36	2,37	5,45	0,57	0,46	0,8	0,76	2,09	3900	11700	31,48	19,7	32,89	325	413
19	19	0,00133	43,16	7,94	2,25	5,33	0,57	0,49	0,85	0,76	2	3900	11700	32,15	19,9	33,57	311	386
20	20	0,00138	51,8	8,19	2,33	5,43	0,57	0,43	0,75	0,75	2,16	6880	14920	33,65	23,4	35,08	336	434
21	21	0,00146	43,22	8,19	2,32	5,34	0,57	0,46	0,8	0,76	2,05	3900	11700	32,1	19,9	33,51	313	387
22	22	0,0016	51,08	7,4	2,72	5,64	0,6	0,39	0,66	0,78	2,4	3900	11700	36,13	22,3	37,63	333	418
23	23	0,00184	42,18	7,01	2,18	5,32	0,67	0,49	0,74	0,83	1,94	3440	10320	33,84	20,2	35,41	233	324
24	24	0,00192	49,84	7,52	2,74	6,27	0,56	0,36	0,64	0,74	2,4	3900	11700	35,48	22	36,89	286	382
25	25	0,00224	45,17	8,09	2,31	4,8	0,6	0,43	0,71	0,78	2,07	3440	10320	34,75	20,5	36,29	295	372
26	26	0,0039	45,29	7,08	2,63	5,47	0,74	0,53	0,72	0,89	2,27	6880	14920	30,7	21,9	32,43	324	460
27	27	0,00802	50,06	6,47	2,12	4,38	0,7	0,54	0,77	0,86	2,01	6880	14486	38,29	26,9	40,04	253	379
28	28	0,01016	55,34	6,95	2,37	5,07	0,59	0,43	0,74	0,77	2,23	3440	10320	30,39	19,5	32,1	320	408
29	29	0,01765	50,87	7,28	2,11	4,46	0,7	0,5	0,71	0,87	2,01	3440	10320	28,34	19,5	29,89	313	406
30	30	0,02813	50,29	7,62	2,93	5,78	0,58	0,4	0,68	0,76	2,53	6880	14486	32,49	23	34,24	345	459
31	31	0,03085	45,08	6,98	2,64	5,44	0,74	0,53	0,72	0,9	2,27	6880	14920	30,85	22	32,55	320	457
32	32	0,0326	47,25	7,43	2,59	6,09	0,68	0,5	0,73	0,85	2,27	6880	14486	28,07	20,9	29,77	327	467
33	33	0,04966	47,98	8,01	1,93	4,59	0,7	0,58	0,84	0,86	1,86	3900	11700	31,27	19,7	33,11	329	446
34	34	0,05169	51,2	7,98	2,73	5,69	0,58	0,43	0,74	0,76	2,41	6880	14486	30,87	22,3	32,24	351	498
35	35	0,05266	45,28	7,05	2,63	5,46	0,74	0,53	0,72	0,9	2,27	6880	14920	30,6	21,9	32,33	326	463
36	36	0,05461	52,96	6,51	1,96	4,28	0,71	0,6	0,84	0,87	1,94	3900	11700	34,2	21,4	35,93	331	417
37	37	0,06785	46,26	6,51	2,19	5,08	0,73	0,55	0,75	0,89	2,01	3440	10320	27,82	19	29,33	298	372
38	38	0,07131	51,22	7,75	3,01	5,86	0,58	0,4	0,68	0,76	2,59	6880	14486	31,65	22,6	33,42	351	487
39	39	0,07556	47,49	7,42	2,61	5,94	0,68	0,5	0,73	0,85	2,29	6880	14486	27,85	20,8	29,52	328	474
40	40	0,07897	55,02	6,8	2,32	5,09	0,7	0,44	0,64	0,86	2,2	3440	10320	28,9	19,4	30,45	317	396
41	41	0,0807	45,28	9,38	2,92	6,4	0,56	0,36	0,64	0,74	2,46	6880	14486	31,17	21,9	33,05	331	461
42	42	0,09451	49,45	6,96	2,35	5,43	0,73	0,55	0,75	0,89	2,14	6880	14920	27,43	20,9	28,92	339	455
43	43	0,09494	46,9	7,85	2,2	4,54	0,68	0,49	0,73	0,85	2,02	3900	11700	30,98	19,9	32,69	314	412
44	44	0,09869	46,91	8,37	2,61	5,08	0,61	0,4	0,65	0,79	2,28	3440	10320	30,41	19,2	31,8	329	419
45	45	0,10554	53,25	8,05	2,28	5,58	0,57	0,47	0,82	0,75	2,15	6880	14920	32,78	23	34,23	348	472
46	46	0,1072	55,22	7,46	2,54	5,06	0,59	0,38	0,63	0,77	2,35	3440	10320	30,48	19,4	31,93	327	405

47	47	0,1082	50,7	7,64	2,79	5,72	0,7	0,4	0,58	0,86	2,45	6880	14920	30,16	22	31,62	345	452
48	48	0,12238	47,71	7,49	2,61	5,96	0,68	0,5	0,73	0,85	2,29	6880	14486	27,62	20,8	29,27	335	481
49	49	0,12631	48,08	7,85	2,1	4,25	0,6	0,46	0,77	0,78	1,97	3440	10320	34,4	21	35,98	298	375
50	50	0,12911	60,34	8,02	2,94	5,45	0,55	0,32	0,59	0,74	2,67	6880	14920	38,04	27,4	39,51	354	475
51	51	0,13183	53,55	7,44	2,3	4,37	0,74	0,48	0,65	0,9	2,17	6880	14920	29,82	22	31,39	331	451
52	52	0,13192	55,8	6,99	2,63	4,95	0,59	0,42	0,7	0,77	2,41	6880	14920	37,73	27,7	39,24	326	441
53	53	0,13398	53,85	7,49	2,35	4,38	0,74	0,48	0,65	0,9	2,21	6880	14920	29,32	21,8	30,9	349	469
54	54	0,13503	44,48	7,8	2,83	5,79	0,65	0,42	0,65	0,83	2,39	3900	11700	31,18	19,8	32,66	327	428
55	55	0,13875	45,6	8,41	2,91	5,59	0,6	0,36	0,59	0,78	2,46	3900	11700	33,06	20,1	34,56	323	410
56	56	0,14224	51,13	7,71	2,82	5,83	0,7	0,4	0,58	0,86	2,47	6880	14920	29,92	21,9	31,36	350	463
57	57	0,14949	47,53	8,66	2,91	6,34	0,56	0,38	0,68	0,75	2,48	6880	14486	31,15	22,1	32,7	343	475
58	58	0,15115	46,68	6,58	2,21	5,13	0,73	0,55	0,75	0,89	2,02	3440	10320	27,45	19	28,93	305	384
59	59	0,15192	48,74	8,63	2,09	4,52	0,63	0,51	0,81	0,81	1,97	6880	14486	33,06	22,8	34,68	333	465
60	60	0,15222	55,69	6,97	2,63	4,94	0,59	0,42	0,7	0,77	2,41	6880	14920	37,79	27,8	39,3	324	439
61	61	0,15922	46,68	6,57	2,21	5,13	0,73	0,55	0,75	0,89	2,02	3440	10320	27,51	19	29	305	384
62	62	0,16942	47,95	6,96	2,62	4,94	0,72	0,48	0,67	0,88	2,3	6880	14920	33,19	23,2	34,77	321	432
63	63	0,17631	54,63	7,93	2,7	5	0,59	0,33	0,55	0,77	2,44	3440	10320	30,71	19,4	32,03	321	393
64	64	0,18002	59,73	6,83	2,61	5,11	0,68	0,43	0,64	0,84	2,45	6880	14920	36,81	26,3	38,38	341	475
65	65	0,18598	51,06	7,54	2,27	4,55	0,7	0,44	0,63	0,86	2,12	6880	14486	38,32	26,8	40,08	296	394
66	66	0,19001	55,67	8,34	1,94	4,36	0,55	0,43	0,78	0,74	1,97	3440	10320	33,44	21,2	34,87	316	398
67	67	0,19207	46,86	6,63	2,24	5,08	0,73	0,55	0,75	0,89	2,04	3440	10320	27,29	18,9	28,78	311	390
68	68	0,19316	52,6	7,28	2,21	4,67	0,74	0,54	0,74	0,89	2,1	6880	14920	31,41	22,7	33,12	339	474
69	69	0,19615	60,45	8,21	3,07	5,46	0,55	0,3	0,55	0,74	2,75	6880	14920	37,93	27,4	39,39	357	477
70	70	0,19749	48,31	8,78	2,11	4,47	0,58	0,45	0,78	0,76	1,98	3900	11700	32,85	20,3	34,35	325	415
71	71	0,19803	50,64	7,83	1,82	5,23	0,59	0,46	0,77	0,77	1,83	6880	14486	41,76	30,5	43,53	248	340
72	72	0,20363	47,03	9,89	3,02	6,72	0,55	0,36	0,64	0,74	2,54	6880	14486	29,78	21,2	31,51	355	515
73	73	0,20499	44,08	8,64	2,3	5,88	0,68	0,47	0,69	0,84	2,04	6880	14486	32,37	22,2	34,01	265	422
74	74	0,20866	51,95	8,05	2,28	5,16	0,6	0,41	0,68	0,78	2,13	3440	10320	35,05	21,4	36,6	322	402
75	75	0,21091	44,52	8,46	3,04	5,89	0,66	0,36	0,55	0,83	2,52	6880	14486	32,33	23,2	33,79	310	428
76	76	0,22002	50,88	7,55	2,04	4,74	0,71	0,59	0,82	0,87	1,96	6880	14486	31,78	22,5	33,49	339	473
77	77	0,22124	45,07	9,27	2,06	5,63	0,59	0,5	0,84	0,78	1,91	6880	14486	30,26	20,9	31,87	326	445
78	78	0,22361	55,07	6,59	1,95	5,34	0,68	0,56	0,83	0,85	1,97	6880	14920	33,31	23,5	34,86	273	414
79	79	0,22363	57,01	7,36	2,67	4,73	0,69	0,4	0,58	0,85	2,45	3440	10320	30,55	20,2	31,97	351	458
80	80	0,22763	52,63	7,96	2,25	5,51	0,57	0,47	0,82	0,75	2,13	6880	14920	33,29	23,1	34,73	337	455
81	81	0,22949	52,25	8,24	2,19	4,92	0,67	0,48	0,71	0,84	2,08	6880	14486	29,38	21,7	30,93	331	463
82	82	0,2314	46,05	9,15	1,94	4,7	0,58	0,47	0,81	0,77	1,84	3440	10320	31,06	19,1	32,54	327	401

83	83	0,23408	48,44	7,05	2,43	5,12	0,66	0,45	0,68	0,83	2,19	3440	10320	33,39	20,7	34,92	301	385
84	84	0,24751	53,88	8,6	2,02	4,49	0,63	0,5	0,79	0,8	2	6880	14920	35,33	24	36,93	340	479
85	85	0,25306	45,06	6,79	2,71	5,44	0,74	0,53	0,72	0,9	2,32	6880	14920	31,06	22,1	32,73	319	455
86	86	0,27205	46,91	8,37	2,61	5,09	0,61	0,4	0,65	0,79	2,28	3440	10320	30,43	19,2	31,85	329	419
87	87	0,27257	47,12	7,51	2,49	5,28	0,73	0,47	0,64	0,88	2,21	3440	10320	26,64	18,6	28,19	326	426
88	88	0,27719	55,3	8,47	1,76	4,5	0,61	0,48	0,78	0,79	1,85	6880	14486	32,98	23,9	34,54	273	403
89	89	0,28898	54	7,32	1,98	4,71	0,64	0,51	0,8	0,81	1,97	6880	14486	32,7	23,4	34,25	312	415
90	90	0,28947	51,13	7,32	2,12	4,49	0,7	0,5	0,71	0,87	2,02	3440	10320	28,17	19,5	29,7	313	412
91	91	0,28982	47,76	9,42	2	4,87	0,59	0,48	0,81	0,77	1,9	6880	14920	31,77	21,6	33,29	344	448
92	92	0,29171	43,22	8,19	2,32	5,34	0,57	0,46	0,8	0,76	2,05	3900	11700	32,1	19,9	33,51	313	387
93	93	0,29339	60,29	6,91	2,26	4,69	0,62	0,45	0,72	0,8	2,23	6880	14486	34,22	24,9	35,68	321	435
94	94	0,30204	50,32	8,93	2,62	5,67	0,55	0,36	0,66	0,74	2,33	3900	11700	33,3	20,5	34,71	366	443
95	95	0,30231	48,45	6,84	2,56	4,72	0,7	0,42	0,61	0,86	2,27	3440	10320	27,8	18,7	29,22	285	372
96	96	0,30237	54,77	8,65	2,45	5,45	0,6	0,41	0,68	0,78	2,28	6880	14486	30,84	22,6	32,3	342	490
97	97	0,30904	44,87	8,21	1,78	4,33	0,7	0,55	0,79	0,87	1,72	6880	14920	30,14	21	31,9	264	373
98	98	0,31669	47,25	8,44	2,26	4,88	0,58	0,46	0,79	0,76	2,06	6880	14486	32,52	22,4	33,99	310	423
99	99	0,33005	49,49	7,43	1,98	4,56	0,72	0,59	0,83	0,88	1,91	6880	14486	31,67	22,4	33,42	310	444
100	100	0,3342	50,83	7,1	2,58	4,75	0,65	0,43	0,66	0,82	2,31	3900	11700	35,15	21,7	36,7	328	417
101	101	0,33756	51,68	6,37	1,91	4,18	0,71	0,6	0,84	0,87	1,89	3440	10320	27,08	19	28,65	305	388
102	102	0,33934	48,3	6,05	1,99	4,22	0,7	0,57	0,81	0,86	1,9	6880	14486	36,85	26,1	38,5	243	339
103	103	0,33963	48,43	8,03	2,25	4,68	0,68	0,5	0,74	0,85	2,07	6880	14486	27,58	20,8	29,1	314	453
104	104	0,34156	45,23	9,39	2,93	6,39	0,56	0,36	0,64	0,74	2,46	6880	14486	31,42	22	32,91	330	459
105	105	0,34942	54,91	8,78	2,07	4,62	0,62	0,49	0,79	0,8	2,04	6880	14920	34,78	23,7	36,38	365	506
106	106	0,35851	48,58	6,27	2,06	4,24	0,71	0,54	0,77	0,87	1,95	6880	14486	36,09	25,4	37,74	249	352
107	107	0,3596	45,38	7,31	2,92	5,6	0,66	0,47	0,72	0,83	2,46	6880	14920	31,78	22,4	33,21	342	472
108	108	0,36723	51,3	8,43	2,22	4,79	0,65	0,43	0,66	0,82	2,08	3900	11700	32,83	20,9	34,51	331	427
109	109	0,3696	51,15	7,64	2,13	4,17	0,75	0,53	0,7	0,91	2,03	6880	14486	31,76	22,9	33,71	308	453
110	110	0,3696	46,87	8,5	2,66	6,56	0,6	0,43	0,73	0,78	2,31	6880	14920	30,39	21,3	32,18	364	476
111	111	0,3714	51,96	8,98	2,04	4,32	0,6	0,42	0,69	0,78	1,98	3440	10320	28,52	18,6	29,99	328	410
112	112	0,37142	53,6	7,31	1,82	4,4	0,74	0,61	0,83	0,89	1,86	6880	14486	35,82	24,3	37,71	308	449
113	113	0,38033	52,98	8,32	2,04	4,16	0,62	0,43	0,69	0,8	2	3440	10320	28,26	18,9	29,67	320	401
114	114	0,386	44,63	8,62	2,82	5,42	0,6	0,4	0,67	0,78	2,39	6880	14486	30,33	21,5	32,05	315	447
115	115	0,38915	50,1	7,26	2,66	5,53	0,6	0,4	0,66	0,78	2,35	3900	11700	36,97	22,6	38,5	315	394
116	116	0,39479	55,81	9,41	2,2	4,77	0,58	0,39	0,68	0,77	2,13	6880	14920	36,23	25,4	37,8	359	470
117	117	0,39771	43,68	9,55	2,24	5,05	0,58	0,38	0,66	0,77	2	3900	11700	36,56	21,1	38,17	274	369
118	118	0,40546	48,6	8,25	2,44	4,56	0,64	0,44	0,68	0,82	2,19	6880	14486	32,94	23,4	34,51	324	440

119	119	0,40762	41,95	6,87	2,19	5,3	0,67	0,49	0,74	0,84	1,95	3440	10320	34,01	20,3	35,56	236	320
120	120	0,41709	49,8	7,78	2,67	6,27	0,56	0,36	0,64	0,74	2,36	3900	11700	35,4	21,9	36,82	285	380
121	121	0,41749	54,47	9,45	2,2	4,65	0,55	0,37	0,68	0,74	2,12	6880	14920	37,51	26,8	39,06	341	437
122	122	0,41867	55,8	6,99	2,63	4,95	0,59	0,42	0,7	0,77	2,41	6880	14920	37,73	27,7	39,24	326	441
123	123	0,41978	54,93	8,8	2,14	4,28	0,62	0,44	0,7	0,8	2,08	6880	14920	35,71	25	37,32	348	467
124	124	0,42763	47,93	6,96	2,62	4,94	0,72	0,48	0,67	0,88	2,3	6880	14920	33,21	23,2	34,78	320	432
125	125	0,42882	50,36	7,86	2,81	5,05	0,58	0,38	0,65	0,77	2,45	6880	14486	32,96	23,4	34,35	328	436
126	126	0,43048	54,13	9,19	2,14	4,63	0,58	0,39	0,68	0,77	2,08	6880	14920	36,98	26,1	38,56	337	435
127	127	0,4385	52,91	8,61	2,21	4,84	0,68	0,5	0,72	0,85	2,1	6880	14920	31,46	22,4	33,14	366	516
128	128	0,44141	49,32	7,24	2,5	6,05	0,6	0,45	0,76	0,78	2,24	3900	11700	34,03	20,7	35,46	331	417
129	129	0,44462	50,88	8,96	2,63	5,73	0,55	0,36	0,66	0,74	2,35	3900	11700	33,2	20,5	34,61	370	449
130	130	0,44655	46,19	9,25	2,17	4,57	0,69	0,48	0,7	0,86	1,99	6880	14486	31,72	21,8	33,4	323	458
131	131	0,44767	52,98	8,61	2,21	4,84	0,68	0,5	0,72	0,85	2,1	6880	14920	31,42	22,4	33,11	365	515
132	132	0,4514	53,75	7,65	1,58	4,39	0,74	0,63	0,85	0,9	1,71	6880	14920	32,63	23,1	34,54	274	422
133	133	0,45807	55,37	6,66	1,94	5,37	0,68	0,56	0,83	0,85	1,96	6880	14920	33,22	23,5	34,79	274	415
134	134	0,46498	45,68	9,5	2,86	5,82	0,61	0,36	0,6	0,79	2,43	6880	14920	29,82	21,1	31,2	344	465
135	135	0,4681	60,52	7,97	2,98	5,46	0,55	0,32	0,59	0,74	2,69	6880	14920	37,99	27,3	39,46	356	479
136	136	0,46901	45,18	8,1	2,31	4,82	0,6	0,43	0,71	0,78	2,07	3440	10320	34,49	20,4	36,04	295	373
137	137	0,47196	47,16	6,79	2,49	4,45	0,71	0,44	0,62	0,87	2,21	3440	10320	32,88	20,6	34,46	279	364
138	138	0,47822	44,44	8,96	2,1	5	0,63	0,49	0,78	0,8	1,92	3900	11700	32,01	19,6	33,65	322	421
139	139	0,48015	41,39	7,95	1,89	4,72	0,68	0,52	0,77	0,84	1,75	3440	10320	26,04	17,6	27,71	242	332
140	140	0,48172	51,51	7,17	2,76	5,02	0,7	0,42	0,61	0,86	2,44	6880	14920	34,98	24,7	36,55	332	445
141	141	0,49916	49,63	8,35	2,59	4,97	0,65	0,39	0,6	0,82	2,3	3900	11700	33,65	20,9	35,22	342	429
142	142	0,50052	55,84	8,65	2,45	5,56	0,6	0,41	0,68	0,78	2,29	6880	14486	30,8	22,6	32,25	352	499
143	143	0,50123	53,85	7,49	2,35	4,38	0,74	0,48	0,65	0,9	2,21	6880	14920	29,32	21,8	30,9	349	469
144	144	0,50772	49,93	7,91	2,34	4,69	0,65	0,5	0,77	0,82	2,15	6880	14920	33,17	23,1	34,77	343	478
145	145	0,51243	45,19	9,72	2,01	4,9	0,7	0,52	0,74	0,86	1,88	6880	14920	29,49	20,9	31,35	344	477
146	146	0,51321	46,43	7,54	2,28	4,94	0,67	0,42	0,63	0,84	2,06	3900	11700	35,17	21,5	36,82	264	347
147	147	0,5172	43,61	8,39	1,85	5,05	0,72	0,59	0,82	0,88	1,75	6880	14486	26,4	19,8	28,23	299	410
148	148	0,52211	45,43	9,41	2,07	5,68	0,59	0,5	0,84	0,77	1,92	6880	14486	30,05	20,8	31,66	335	457
149	149	0,52681	49,38	8,99	2,2	4,57	0,58	0,45	0,77	0,76	2,05	6880	14920	36,12	24,9	37,69	338	450
150	150	0,5279	52,99	8,62	2,21	4,85	0,68	0,5	0,72	0,85	2,1	6880	14920	31,4	22,4	33,09	365	516
151	151	0,53154	48,38	9,61	2,04	4,94	0,58	0,47	0,81	0,77	1,93	6880	14920	31,55	21,5	33,08	355	466
152	152	0,53478	47,22	7,97	1,89	4,53	0,7	0,58	0,84	0,86	1,82	3900	11700	31,85	19,7	33,65	321	427
153	153	0,53737	51,62	9,14	1,86	4,35	0,65	0,51	0,78	0,82	1,86	3900	11700	30,87	19,7	32,48	345	459
154	154	0,5396	55,84	6,75	1,97	5,41	0,67	0,56	0,83	0,84	1,99	6880	14920	33,15	23,4	34,7	280	427

155	155	0,55038	53,99	7,05	2,5	4,73	0,56	0,38	0,68	0,75	2,3	3440	10320	37,86	23	39,36	300	377
156	156	0,56376	51,12	6,59	2,64	4,81	0,67	0,48	0,71	0,84	2,35	6880	14486	31,22	22,6	32,66	310	437
157	157	0,56834	44,44	8,73	2,32	5,87	0,68	0,47	0,69	0,84	2,06	6880	14486	32,1	22	33,71	273	432
158	158	0,57434	46,81	7,11	2,08	5,42	0,71	0,6	0,84	0,87	1,94	3900	11700	29,93	19,6	31,68	324	425
159	159	0,57488	58,94	7,08	1,94	5,16	0,6	0,47	0,79	0,78	2,01	6880	14486	35,42	25,6	36,9	275	397
160	160	0,57714	44,51	8,55	2,27	5,88	0,71	0,49	0,69	0,87	2,03	6880	14486	30,95	21,6	32,64	273	434
161	161	0,58156	55,84	8,65	2,45	5,55	0,6	0,41	0,68	0,78	2,29	6880	14486	30,76	22,6	32,21	351	499
162	162	0,59375	44,04	8,6	1,82	4,25	0,7	0,55	0,79	0,87	1,74	6880	14920	28,8	20,4	30,57	273	393
163	163	0,59896	51,58	9,08	2,67	5,81	0,55	0,36	0,66	0,74	2,38	3900	11700	32,63	20,3	34,04	382	468
164	164	0,61447	50,94	9,04	2,65	5,74	0,55	0,36	0,66	0,74	2,36	3900	11700	32,97	20,3	34,37	374	459
165	165	0,62217	56,07	6,6	1,93	5,45	0,68	0,56	0,82	0,85	1,96	6880	14920	33,54	23,7	35,09	274	414
166	166	0,62388	44,19	8,53	2,8	5,37	0,6	0,4	0,67	0,78	2,37	6880	14486	30,69	21,6	32,32	309	435
167	167	0,62783	43,88	8,64	1,86	5,06	0,71	0,58	0,82	0,87	1,76	6880	14486	26,04	19,7	27,88	305	423
168	168	0,64366	46,98	7,69	2,69	4,74	0,69	0,4	0,57	0,85	2,34	3900	11700	32,93	20,7	34,52	312	396
169	169	0,64521	52,36	7,25	2,2	4,03	0,74	0,54	0,74	0,89	2,09	6880	14920	31,59	22,7	33,31	332	467
170	170	0,65473	49,31	7,23	2,5	6,05	0,6	0,45	0,76	0,78	2,24	3900	11700	34,02	20,7	35,44	331	417
171	171	0,66276	47,27	8,14	2,1	5,59	0,73	0,49	0,67	0,89	1,96	6880	14486	28,89	21,1	30,61	273	412
172	172	0,66567	44,02	8,44	1,88	5,1	0,72	0,59	0,82	0,88	1,78	6880	14486	25,89	19,7	27,7	306	424
173	173	0,66902	47,89	8,24	2,72	4,76	0,66	0,37	0,55	0,83	2,37	6880	14486	30,75	22,4	32,23	298	404
174	174	0,67703	45,39	9,74	2,02	4,93	0,7	0,52	0,74	0,86	1,88	6880	14920	29,53	20,9	31,38	346	478
175	175	0,67704	54,6	6,96	1,82	4,7	0,72	0,57	0,8	0,88	1,88	6880	14486	31,57	22,8	33,21	309	411
176	176	0,68975	46,54	8,93	1,94	4,95	0,67	0,42	0,63	0,84	1,84	3900	11700	34,83	21	36,58	266	350
177	177	0,6916	54,13	7,88	2,61	5,99	0,64	0,43	0,67	0,81	2,37	6880	14920	35,65	24,8	37,19	362	490
178	178	0,70333	43,26	8,31	2,54	5,28	0,59	0,42	0,72	0,77	2,19	3440	10320	26,9	17,6	28,46	301	398
179	179	0,70792	44,84	7,86	2,85	6,41	0,65	0,42	0,65	0,83	2,41	3900	11700	31,67	19,8	33,16	346	439
180	180	0,71219	44,6	8,48	1,89	5,17	0,72	0,59	0,82	0,88	1,79	6880	14486	25,69	19,7	27,45	315	433
181	181	0,71478	44,53	9,2	2,23	4,79	0,6	0,44	0,74	0,78	2,01	3440	10320	25,69	17,4	27,33	314	419
182	182	0,71693	55,95	8,66	2,45	5,56	0,6	0,41	0,68	0,78	2,3	6880	14486	30,72	22,6	32,18	353	501
183	183	0,72733	53,41	10	2,2	4,25	0,63	0,4	0,64	0,8	2,1	6880	14920	30,1	21,8	31,65	349	484
184	184	0,73063	54,12	8,35	2,75	4,35	0,56	0,35	0,63	0,75	2,46	3440	10320	31,82	20,3	33,14	351	450
185	185	0,73176	43,59	8,52	2,79	5,25	0,6	0,4	0,67	0,78	2,35	6880	14486	30,77	21,6	32,38	304	428
186	186	0,7328	47,59	9,54	2,59	4,82	0,58	0,36	0,62	0,76	2,27	6880	14486	32,24	22,5	33,66	321	432
187	187	0,74083	41,39	7,95	1,89	4,72	0,68	0,52	0,77	0,84	1,75	3440	10320	26,04	17,6	27,71	242	332
188	188	0,7517	54,21	10,3	2,27	4,6	0,55	0,31	0,57	0,74	2,15	3440	10320	35,31	22,2	36,84	323	401
189	189	0,75287	48,82	8,85	2,76	6,73	0,6	0,44	0,73	0,78	2,4	6880	14920	28,67	20,8	30,37	382	536
190	190	0,75605	49,26	7,58	2,03	4,07	0,73	0,55	0,75	0,89	1,94	3900	11700	27,9	19,3	29,53	323	425

191	191	0,77106	54,72	8,75	2,06	4,61	0,62	0,49	0,79	0,8	2,03	6880	14920	34,89	23,8	36,5	362	501
192	192	0,78327	50,2	8,18	2,11	4,96	0,7	0,46	0,66	0,86	2	3440	10320	27,86	19,1	29,4	315	415
193	193	0,7837	44,67	8,51	2,26	5,9	0,72	0,5	0,69	0,88	2,03	6880	14486	30,34	21,4	32,07	277	439
194	194	0,78393	47,65	9,91	1,99	4,91	0,62	0,49	0,79	0,8	1,89	6880	14920	33,25	22,3	34,89	341	475
195	195	0,79686	51,28	9,6	1,96	3,94	0,58	0,45	0,78	0,76	1,92	3900	11700	31,71	20,1	33,21	344	450
196	196	0,79904	43,65	8,38	1,99	4,98	0,68	0,52	0,77	0,84	1,84	3440	10320	24,02	17,3	25,51	298	390
197	197	0,79926	52,04	6,4	1,93	4,21	0,71	0,6	0,84	0,87	1,91	3440	10320	26,84	18,9	28,41	312	396
198	198	0,82092	45,29	8,59	2,43	6,47	0,57	0,46	0,8	0,76	2,15	3900	11700	30,78	19,4	32,2	353	446
199	199	0,822	48,43	8,85	2,48	4,68	0,56	0,41	0,74	0,75	2,22	6880	14486	31,37	22,4	32,76	322	452

Generacija 300

PB	PR	SO	L_{WL}	B	T	H_{T10}	C_P	C_B	C_M	C_{WP}	D_P	P_{PAT}	P_{MCR}	U_S	U_E	U_{MAX}	W_{LS}	W_T
0	1	0	45,05	6,49	2,19	4,53	0,75	0,57	0,76	0,9	1,99	3440	10320	28,85	19,22	30,53	287	375
1	1	0	51,64	6,85	2,3	5,15	0,75	0,58	0,78	0,9	2,14	6880	14486	31,99	22,94	33,8	340	492
2	1	0	49,98	6,89	2,33	4,87	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	30,68	20,06	32,65	346	460
3	1	0	51,64	6,85	2,3	5,15	0,75	0,58	0,78	0,9	2,14	6880	14486	31,99	22,94	33,8	340	492
4	1	0	48,78	6,54	2,2	4,39	0,75	0,58	0,77	0,91	2,04	3440	10320	28,7	19,54	30,37	312	415
5	1	0	47,81	6,46	2,17	4,75	0,75	0,58	0,77	0,91	2,01	3440	10320	29,17	19,59	30,85	300	398
6	1	0	48,82	6,82	2,29	4,85	0,75	0,53	0,71	0,9	2,1	3440	10320	28,58	19,51	30,21	314	415
7	1	0	48,1	6,98	2,37	4,71	0,75	0,56	0,74	0,91	2,14	3900	11700	29,5	19,62	31,65	343	458
8	1	0	48,36	6,96	2,33	4,81	0,75	0,53	0,71	0,9	2,12	3440	10320	29	19,4	30,94	322	429
9	1	0	48,58	6,78	2,27	4,83	0,75	0,53	0,71	0,9	2,09	3440	10320	29	19,58	30,65	312	410
10	1	0	47,82	6,46	2,17	4,75	0,75	0,58	0,77	0,91	2,01	3440	10320	29,16	19,59	30,84	301	398
11	1	0	47,66	6,33	2,13	4,71	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	29,72	19,74	31,41	293	386
12	1	0	48,1	6,38	2,14	4,81	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,63	19,77	31,32	298	390
13	1	0	48	6,5	2,18	4,77	0,74	0,57	0,77	0,9	2,02	3440	10320	29,49	19,68	31,16	303	398
14	1	0	46,84	6,67	2,19	4,69	0,75	0,58	0,78	0,9	2,01	3440	10320	28,02	19,14	29,77	308	410
15	1	0	48,35	6,76	2,27	4,81	0,75	0,53	0,71	0,91	2,08	3440	10320	28,94	19,58	30,59	308	406
16	1	0	46,18	6,73	2,26	5,16	0,75	0,56	0,75	0,91	2,05	3440	10320	29,03	19,24	30,98	307	406
17	1	0	45,25	6,56	2,2	4,48	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	28,09	19,02	29,76	294	391
18	1	0	47,85	6,47	2,17	4,75	0,74	0,57	0,77	0,9	2,01	3440	10320	29,66	19,71	31,34	300	393
19	1	0	46,26	6,73	2,28	5,13	0,74	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,29	19,3	31,26	307	406
20	1	0	48,53	6,76	2,27	4,83	0,75	0,53	0,71	0,91	2,08	3440	10320	29,1	19,61	30,75	310	408
21	1	0	45,21	6,51	2,18	4,48	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	28,7	19,16	30,45	288	384
22	1	0	48,22	6,4	2,15	4,83	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,54	19,75	31,23	300	393
23	1	0	47,6	6,65	2,66	5,27	0,74	0,51	0,69	0,9	2,32	3900	11700	30,68	19,99	32,54	337	443
24	1	0	48,67	6,81	2,28	4,81	0,75	0,53	0,71	0,9	2,09	3440	10320	28,59	19,51	30,23	313	414
25	1	0	48,19	6,48	2,17	4,8	0,74	0,57	0,77	0,9	2,02	3440	10320	29,67	19,75	31,34	303	397
26	1	0	45,07	6,49	2,19	4,53	0,75	0,57	0,76	0,9	1,99	3440	10320	28,84	19,22	30,51	287	376
27	1	0	44,91	6,5	2,19	4,49	0,75	0,57	0,76	0,91	1,99	3440	10320	28,68	19,17	30,36	286	375
28	1	0	46,25	6,75	2,26	5,11	0,75	0,56	0,75	0,91	2,05	3440	10320	29,04	19,24	31,03	307	407
29	1	0	45,07	6,49	2,19	4,53	0,75	0,57	0,76	0,9	1,99	3440	10320	28,84	19,22	30,51	287	376
30	1	0	46,02	6,79	2,28	5,12	0,74	0,55	0,74	0,9	2,06	3440	10320	29,23	19,25	31,25	309	408
31	1	0	46,24	6,73	2,28	5,13	0,74	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,32	19,31	31,28	306	406
32	1	0	45,26	6,51	2,18	4,49	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,41	19,11	30,09	290	387
33	1	0	46,19	6,72	2,27	5,12	0,74	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,37	19,32	31,34	304	403

34	1	0	45,47	6,54	2,19	4,5	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,2	19,08	29,88	290	391
35	1	0	46,08	6,73	2,26	5,16	0,75	0,56	0,74	0,91	2,04	3440	10320	29,14	19,26	31,09	305	404
36	1	0	44,86	6,49	2,18	4,44	0,75	0,58	0,78	0,9	1,98	3440	10320	28,54	19,11	30,22	285	379
37	1	0	45,76	6,44	2,16	4,58	0,75	0,58	0,77	0,9	1,98	3440	10320	28,95	19,32	30,63	287	380
38	1	0	46,27	6,51	2,18	4,63	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	28,52	19,25	30,19	293	393
39	1	0	48,08	6,72	2,25	4,78	0,75	0,53	0,71	0,9	2,07	3440	10320	29,15	19,62	30,81	299	397
40	1	0	45,64	6,56	2,2	4,51	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	29,28	19,26	31,29	296	396
41	1	0	48,33	6,96	2,33	4,78	0,75	0,53	0,71	0,9	2,12	3440	10320	28,97	19,39	30,91	322	429
42	1	0	48,28	6,74	2,26	4,8	0,75	0,53	0,71	0,9	2,07	3440	10320	28,99	19,59	30,65	304	402
43	1	0	45,22	6,5	2,18	4,48	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	28,44	19,12	30,13	290	384
44	1	0	45,22	6,46	2,17	4,55	0,75	0,58	0,78	0,91	1,97	3440	10320	28,69	19,19	30,37	286	380
45	1	0	47,92	6,36	2,13	4,8	0,75	0,58	0,77	0,9	1,99	3440	10320	28,78	19,66	30,46	293	386
46	1	0	46,69	6,64	2,19	4,67	0,75	0,58	0,78	0,91	2,01	3440	10320	28,19	19,17	29,95	308	408
47	1	0	48,15	6,53	2,19	4,79	0,74	0,57	0,77	0,9	2,03	3440	10320	29,26	19,63	30,93	305	404
48	1	0	45,27	6,52	2,19	4,48	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,82	19,18	30,63	291	386
49	1	0	48,01	6,37	2,14	4,8	0,75	0,58	0,77	0,9	1,99	3440	10320	29,71	19,78	31,4	295	388
50	1	0	47,93	6,46	2,17	4,76	0,74	0,57	0,77	0,9	2,01	3440	10320	29,69	19,73	31,36	298	393
51	1	0	45,58	6,56	2,2	4,51	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	28,11	19,06	29,79	297	394
52	1	0	47,97	6,39	2,15	4,77	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,64	19,74	31,33	296	390
53	1	0	45,14	6,55	2,2	4,47	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,14	19,03	29,82	292	389
54	1	0	48,03	6,89	2,31	4,78	0,75	0,53	0,71	0,91	2,1	3440	10320	28,62	19,37	30,33	314	418
55	1	0	46,72	6,62	2,18	4,68	0,75	0,59	0,78	0,91	2	3440	10320	28,12	19,16	29,89	307	406
56	1	0	48,03	6,47	2,17	4,78	0,74	0,57	0,77	0,9	2,01	3440	10320	29,7	19,74	31,37	301	395
57	1	0	45,64	6,46	2,19	4,58	0,75	0,59	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,41	19,16	30,11	295	390
58	1	0	48,66	6,78	2,27	4,85	0,75	0,53	0,71	0,9	2,09	3440	10320	28,79	19,56	30,43	312	412
59	1	0	48,67	6,81	2,28	4,81	0,75	0,53	0,71	0,9	2,09	3440	10320	28,59	19,51	30,23	313	415
60	1	0	45,64	6,49	2,29	4,59	0,75	0,56	0,75	0,91	2,06	3440	10320	29,02	19,28	30,78	295	391
61	1	0	48,28	6,74	2,26	4,82	0,75	0,53	0,71	0,9	2,07	3440	10320	29,24	19,63	30,9	305	403
62	1	0	45,1	6,49	2,19	4,53	0,75	0,57	0,76	0,9	1,99	3440	10320	28,81	19,21	30,49	288	376
63	1	0	45,62	6,55	2,26	4,49	0,75	0,56	0,75	0,91	2,04	3440	10320	28,34	19,15	29,99	289	390
64	1	0	47,9	6,44	2,16	4,75	0,75	0,58	0,77	0,91	2,01	3440	10320	29,78	19,69	31,48	301	396
65	1	0	47,72	6,41	2,11	4,51	0,75	0,58	0,78	0,91	1,97	3440	10320	29,4	19,68	31,11	294	386
66	1	0	46,04	6,47	2,17	4,61	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	29,02	19,33	30,76	293	387
67	1	0	46,32	6,78	2,27	5,13	0,75	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,19	19,27	31,21	311	410
68	1	0	46,18	6,75	2,26	5,16	0,75	0,56	0,74	0,9	2,05	3440	10320	29,04	19,24	30,99	307	406
69	1	0	47,73	6,44	2,16	4,74	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,24	19,61	30,92	300	394

70	1	0	46,72	6,61	2,18	4,68	0,75	0,59	0,78	0,9	2	3440	10320	28,14	19,16	29,91	307	406
71	1	0	46,34	6,74	2,27	4,67	0,75	0,56	0,75	0,91	2,06	3440	10320	28,96	19,24	30,95	307	408
72	1	0	48,04	6,86	2,3	4,78	0,75	0,53	0,71	0,91	2,1	3440	10320	28,6	19,37	30,32	315	418
73	1	0	45,71	6,5	2,2	4,61	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,45	19,16	30,2	296	392
74	1	0	47,58	6,43	2,16	4,73	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,35	19,62	31,04	298	391
75	1	0	48,21	6,46	2,12	4,55	0,75	0,58	0,77	0,91	1,99	3440	10320	29,07	19,64	30,76	300	396
76	1	0	45,47	6,46	2,19	4,58	0,75	0,58	0,78	0,9	1,99	3440	10320	28,69	19,2	30,42	291	388
77	1	0	45,6	6,59	2,25	4,56	0,75	0,56	0,75	0,91	2,03	3440	10320	29,11	19,26	30,89	295	390
78	1	0	46,84	6,67	2,19	4,69	0,75	0,58	0,78	0,9	2,01	3440	10320	28,02	19,14	29,77	308	410
79	1	0	45,96	6,46	2,17	4,6	0,75	0,58	0,78	0,9	1,98	3440	10320	29,11	19,34	30,84	292	385
80	1	0	45,76	6,5	2,3	4,6	0,75	0,56	0,75	0,91	2,07	3440	10320	28,98	19,28	30,76	297	393
81	1	0	45,39	6,45	2,28	4,57	0,75	0,56	0,75	0,9	2,05	3440	10320	29,34	19,34	31,07	290	386
82	1	0	46,24	6,77	2,27	5,12	0,74	0,56	0,75	0,9	2,05	3440	10320	29,3	19,29	31,32	307	407
83	1	0	45,56	6,47	2,29	4,58	0,75	0,56	0,75	0,91	2,06	3440	10320	29,11	19,3	30,86	294	389
84	1	0	47,76	6,44	2,16	4,75	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,22	19,61	30,9	300	394
85	1	0	45,35	6,45	2,28	4,56	0,75	0,56	0,75	0,91	2,05	3440	10320	29,23	19,31	30,96	290	386
86	1	0	45,36	6,44	2,28	4,56	0,75	0,56	0,75	0,91	2,05	3440	10320	29,3	19,33	31,02	288	384
87	1	0	47,53	6,41	2,15	4,72	0,75	0,58	0,77	0,9	1,99	3440	10320	29,4	19,64	31,09	295	389
88	1	0	46,79	6,62	2,19	4,68	0,75	0,58	0,78	0,9	2,01	3440	10320	28,23	19,19	30,01	307	407
89	1	0	45,77	6,51	2,14	4,58	0,75	0,58	0,78	0,91	1,96	3440	10320	29,06	19,31	30,79	288	382
90	1	0	47,73	6,44	2,16	4,74	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,24	19,61	30,92	298	393
91	1	0	47,93	6,72	2,25	4,77	0,75	0,53	0,71	0,91	2,06	3440	10320	29,03	19,57	30,69	299	397
92	1	0	45,58	6,65	2,22	4,45	0,75	0,56	0,75	0,9	2,01	3440	10320	28,77	19,2	30,52	294	389
93	1	0	48,15	6,53	2,19	4,79	0,74	0,57	0,77	0,9	2,03	3440	10320	29,26	19,63	30,93	305	404
94	1	0	47,92	6,36	2,13	4,8	0,75	0,58	0,77	0,9	1,99	3440	10320	28,78	19,66	30,46	293	386
95	1	0	49,26	6,93	2,34	4,81	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	30,28	19,9	32,35	345	459
96	1	0	45,68	6,66	2,23	4,46	0,75	0,56	0,75	0,9	2,02	3440	10320	28,68	19,18	30,44	292	392
97	1	0	46,43	6,77	2,28	5,15	0,75	0,56	0,74	0,91	2,06	3440	10320	28,92	19,23	30,92	313	413
98	1	0	45,49	6,54	2,19	4,51	0,74	0,57	0,78	0,9	1,99	3440	10320	28,98	19,26	30,66	289	385
99	1	0	50	6,89	2,33	4,88	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	30,65	20,05	32,63	347	461
100	1	0	45,97	6,73	2,27	5,13	0,74	0,55	0,74	0,9	2,05	3440	10320	29,18	19,26	31	300	400
101	1	0	46,38	6,53	2,19	4,65	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	28,45	19,24	30,13	299	395
102	1	0	46,2	6,5	2,18	4,63	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	28,61	19,26	30,28	296	391
103	1	0	48,99	6,98	2,35	4,84	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	30,03	19,81	32,16	345	460
104	1	0	45,44	6,54	2,19	4,5	0,74	0,57	0,78	0,9	1,99	3440	10320	29,01	19,26	30,69	291	385
105	1	0	48,15	6,98	2,38	4,7	0,75	0,55	0,74	0,9	2,15	3900	11700	29,71	19,67	31,88	343	457

106	1	0	46,34	6,74	2,27	4,67	0,75	0,56	0,75	0,91	2,06	3440	10320	29	19,25	31,02	307	408
107	1	0	48,3	6,75	2,26	4,82	0,75	0,53	0,71	0,9	2,08	3440	10320	28,94	19,58	30,6	304	403
108	1	0	45,74	6,63	2,23	4,6	0,75	0,57	0,75	0,91	2,02	3440	10320	29,17	19,25	31	293	393
109	1	0	45,51	6,45	2,19	4,59	0,75	0,58	0,78	0,9	1,99	3440	10320	28,75	19,22	30,48	291	385
110	1	0	45,88	6,55	2,2	4,61	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	29,46	19,32	31,53	297	396
111	1	0	48,44	6,77	2,27	4,82	0,75	0,53	0,71	0,91	2,08	3440	10320	28,83	19,55	30,48	310	408
112	1	0	47,83	6,36	2,13	4,74	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	29,58	19,72	31,27	297	390
113	1	0	45,6	6,62	2,24	4,47	0,75	0,56	0,75	0,91	2,03	3440	10320	28,56	19,16	30,31	291	391
114	1	0	45,56	6,47	2,29	4,58	0,75	0,56	0,75	0,91	2,06	3440	10320	29,1	19,3	30,85	294	389
115	1	0	47,91	6,47	2,17	4,76	0,74	0,57	0,77	0,9	2,01	3440	10320	29,65	19,72	31,32	300	394
116	1	0	45,58	6,59	2,25	4,55	0,75	0,56	0,75	0,9	2,03	3440	10320	29,08	19,26	30,85	295	390
117	1	0	47,86	6,42	2,16	4,76	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,41	19,66	31,09	297	392
118	1	0	46,34	6,51	2,18	4,63	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,75	19,29	30,52	298	394
119	1	0	45,31	6,46	2,19	4,54	0,75	0,58	0,78	0,9	1,99	3440	10320	28,47	19,14	30,17	291	388
120	1	0	46,56	6,91	2,31	5,16	0,74	0,54	0,72	0,9	2,09	3440	10320	29,18	19,28	31,15	313	413
121	1	0	45,53	6,49	2,2	4,59	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,5	19,16	30,25	294	390
122	1	0	45,55	6,49	2,2	4,58	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,26	19,11	29,96	295	392
123	1	0	45,62	6,55	2,26	4,49	0,75	0,56	0,75	0,9	2,04	3440	10320	28,35	19,16	30	289	390
124	1	0	47,9	6,43	2,16	4,76	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,4	19,66	31,09	300	394
125	1	0	45,36	6,44	2,28	4,56	0,75	0,56	0,75	0,91	2,05	3440	10320	29,3	19,33	31,02	288	384
126	1	0	46,27	6,51	2,18	4,63	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	28,52	19,25	30,19	293	393
127	1	0	45,82	6,51	2,21	4,62	0,75	0,58	0,78	0,9	2,01	3440	10320	28,37	19,15	30,13	298	395
128	1	0	45,61	6,48	2,2	4,6	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	28,48	19,17	30,21	295	390
129	1	0	47,89	6,43	2,16	4,76	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,4	19,66	31,09	300	393
130	1	0	48,11	6,45	2,16	4,78	0,75	0,58	0,77	0,9	2,01	3440	10320	29,18	19,63	30,86	303	399
131	1	0	45,72	6,53	2,19	4,6	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,25	19,12	29,94	292	392
132	1	0	48,03	6,5	2,18	4,77	0,74	0,57	0,77	0,9	2,02	3440	10320	29,48	19,68	31,15	303	398
133	1	0	46,42	6,79	2,28	5,15	0,75	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,09	19,26	31,12	313	413
134	1	0	48,27	6,78	2,27	4,8	0,75	0,53	0,71	0,91	2,08	3440	10320	28,75	19,51	30,4	310	408
135	1	0	45,4	6,53	2,19	4,5	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,33	19,1	30,04	293	389
136	1	0	48,53	6,76	2,27	4,83	0,75	0,53	0,71	0,91	2,08	3440	10320	29,1	19,61	30,75	310	408
137	1	0	47,87	6,47	2,17	4,76	0,74	0,57	0,77	0,9	2,01	3440	10320	29,64	19,71	31,32	300	394
138	1	0	48,48	6,76	2,29	4,81	0,75	0,53	0,71	0,91	2,09	3440	10320	28,74	19,54	30,38	311	410
139	1	0	45,81	6,45	2,16	4,58	0,75	0,58	0,77	0,9	1,98	3440	10320	28,93	19,32	30,61	287	381
140	1	0	48,52	6,76	2,29	4,81	0,75	0,53	0,71	0,9	2,09	3440	10320	28,77	19,55	30,4	311	410
141	1	0	47,8	6,42	2,15	4,75	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,44	19,67	31,12	298	392

142	1	0	49,12	6,94	2,34	4,8	0,75	0,56	0,75	0,9	2,14	3900	11700	30,18	19,87	32,29	344	459
143	1	0	46,04	6,79	2,29	5,12	0,74	0,55	0,74	0,9	2,06	3440	10320	29,21	19,25	31,22	307	407
144	1	0	45,25	6,46	2,17	4,55	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	28,66	19,18	30,34	286	381
145	1	0	45,59	6,55	2,2	4,52	0,74	0,57	0,78	0,9	2	3440	10320	28,9	19,25	30,58	293	387
146	1	0	45,21	6,42	2,18	4,56	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	28,84	19,23	30,55	285	380
147	1	0	45,21	6,42	2,18	4,56	0,75	0,58	0,78	0,9	1,98	3440	10320	28,93	19,24	30,65	285	380
148	1	0	47,94	6,41	2,15	4,76	0,75	0,57	0,77	0,91	2	3440	10320	29,5	19,71	31,18	299	392
149	1	0	45,15	6,48	2,17	4,47	0,75	0,58	0,77	0,91	1,98	3440	10320	28,63	19,17	30,31	285	380
150	1	0	45,79	6,54	2,2	4,58	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,29	19,12	30,04	298	395
151	1	0	45,88	6,55	2,2	4,61	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	29,45	19,32	31,52	297	397
152	1	0	45,64	6,51	2,2	4,57	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,18	19,1	29,88	297	394
153	1	0	46,1	6,74	2,26	5,17	0,75	0,56	0,75	0,9	2,05	3440	10320	29,19	19,27	31,08	305	404
154	1	0	45,32	6,58	2,23	4,45	0,75	0,56	0,75	0,9	2,01	3440	10320	28,82	19,2	30,54	288	384
155	1	0	45,16	6,43	2,18	4,55	0,75	0,58	0,78	0,9	1,98	3440	10320	28,86	19,22	30,59	286	380
156	1	0	45,24	6,42	2,18	4,56	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	28,88	19,23	30,6	286	380
157	1	0	45,54	6,55	2,2	4,51	0,74	0,57	0,78	0,9	2	3440	10320	28,89	19,24	30,57	292	387
158	1	0	46,32	6,78	2,28	5,14	0,74	0,55	0,74	0,9	2,06	3440	10320	29,24	19,29	31,26	311	410
159	1	0	45,96	6,46	2,17	4,6	0,75	0,58	0,78	0,9	1,98	3440	10320	29,11	19,34	30,84	292	385
160	1	0	46,24	6,72	2,28	5,11	0,74	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,31	19,31	31,28	308	407
161	1	0	45,64	6,56	2,2	4,51	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	29,28	19,26	31,29	296	396
162	1	0	47,89	6,43	2,16	4,76	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,36	19,65	31,04	298	393
163	1	0	47,51	6,81	2,28	4,73	0,75	0,53	0,71	0,91	2,08	3440	10320	29,06	19,45	30,75	307	405
164	1	0	47,91	6,43	2,16	4,76	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,35	19,65	31,03	300	394
165	1	0	47,71	6,4	2,15	4,74	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,55	19,69	31,24	295	389
166	1	0	45,46	6,44	2,18	4,57	0,75	0,59	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,57	19,18	30,26	291	385
167	1	0	48,99	6,98	2,35	4,84	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	30,04	19,81	32,17	345	460
168	1	0	47,87	6,43	2,16	4,75	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,35	19,65	31,03	300	394
169	1	0	45,16	6,55	2,2	4,47	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,15	19,03	29,83	292	389
170	1	0	45,34	6,5	2,18	4,49	0,75	0,58	0,78	0,91	1,98	3440	10320	28,5	19,15	30,18	290	385
171	1	0	45,41	6,53	2,19	4,5	0,75	0,58	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,27	19,09	29,96	293	389
172	1	0	45,46	6,55	2,2	4,5	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	28,18	19,07	29,85	294	391
173	1	0	45,07	6,49	2,19	4,5	0,75	0,57	0,76	0,91	1,99	3440	10320	28,76	19,21	30,44	287	376
174	1	0	46,2	6,76	2,27	5,13	0,74	0,56	0,75	0,9	2,05	3440	10320	29,25	19,28	31,22	306	405
175	1	0	48,3	6,75	2,26	4,77	0,75	0,53	0,71	0,9	2,08	3440	10320	28,88	19,56	30,53	308	406
176	1	0	45,52	6,61	2,24	4,47	0,75	0,56	0,75	0,91	2,02	3440	10320	28,63	19,17	30,36	293	389
177	1	0	46,09	6,72	2,25	5,11	0,74	0,56	0,75	0,9	2,04	3440	10320	29,15	19,27	30,96	300	399

178	1	0	46,23	6,77	2,27	5,12	0,74	0,56	0,75	0,9	2,05	3440	10320	29,25	19,28	31,24	309	408
179	1	0	46,43	6,77	2,28	5,15	0,75	0,56	0,74	0,91	2,06	3440	10320	28,92	19,23	30,92	313	413
180	1	0	45,22	6,46	2,17	4,55	0,75	0,58	0,78	0,91	1,97	3440	10320	28,69	19,19	30,37	286	380
181	1	0	48,12	6,39	2,14	4,82	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,62	19,76	31,31	299	391
182	1	0	47,75	6,44	2,16	4,75	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,23	19,61	30,91	300	394
183	1	0	48,1	6,99	2,37	4,7	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	29,61	19,64	31,75	342	457
184	1	0	47,73	6,44	2,16	4,74	0,75	0,58	0,77	0,9	2	3440	10320	29,24	19,61	30,92	298	393
185	1	0	45,7	6,53	2,19	4,56	0,75	0,58	0,78	0,9	2	3440	10320	28,26	19,12	29,94	292	392
186	1	0	45,74	6,63	2,23	4,6	0,75	0,57	0,75	0,91	2,02	3440	10320	29,17	19,25	31	293	393
187	1	0	48,07	6,46	2,17	4,77	0,75	0,58	0,77	0,91	2,01	3440	10320	29,19	19,62	30,87	303	398
188	1	0	45,58	6,61	2,24	4,47	0,75	0,56	0,75	0,91	2,02	3440	10320	28,66	19,19	30,39	293	389
189	1	0	45,49	6,54	2,19	4,51	0,75	0,58	0,78	0,91	2	3440	10320	28,2	19,08	29,89	295	391
190	1	0	47,64	6,4	2,15	4,73	0,75	0,58	0,77	0,91	1,99	3440	10320	29,49	19,67	31,18	295	389
191	1	0	47,58	6,43	2,16	4,73	0,75	0,58	0,77	0,91	2	3440	10320	29,35	19,62	31,04	298	391
192	1	0	45,75	6,51	2,29	4,6	0,75	0,56	0,75	0,91	2,06	3440	10320	28,91	19,26	30,69	297	394
193	1	0	46,2	6,76	2,27	5,13	0,74	0,56	0,75	0,9	2,05	3440	10320	29,26	19,28	31,23	306	404
194	1	0	48,22	6,97	2,36	4,72	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	29,57	19,64	31,73	344	458
195	1	0	49,17	6,94	2,34	4,8	0,75	0,56	0,74	0,9	2,14	3900	11700	30,23	19,88	32,32	344	458
196	1	0	46,19	6,72	2,27	5,12	0,74	0,56	0,75	0,9	2,06	3440	10320	29,37	19,32	31,34	304	403
197	1	0	45,35	6,46	2,19	4,57	0,75	0,58	0,78	0,9	1,99	3440	10320	28,68	19,19	30,42	289	385
198	1	0	45,43	6,44	2,18	4,57	0,75	0,59	0,78	0,91	1,99	3440	10320	28,56	19,18	30,26	291	385
199	1	0	48,1	6,72	2,25	4,8	0,75	0,53	0,71	0,9	2,07	3440	10320	29,1	19,61	30,76	299	398

Prilog 9: Izlazni rezultati programa Monako PRB (II dio)

Značenje kratica:
PB – redni broj projekta
PR – rang projekta
SO – suma prekoračenja ograničenja
V_S – volumen nadgrađa [m^3]
V_{RS} – zahtijevani volumen nadgrađa [m^3]
V_{TA} – ukupni dostupni volumen [m^3]
V_{TR} – ukupni zahtijevani volumen [m^3]
A_{TA} – ukupna dostupna površina [m^2]
A_{TR} – ukupna zahtijevana površina [m^2]
P_{24P} – satna potrošnja el. energije [kW]
P_{ITOT} – zahtijevana potrošnja el. energije [kW]
P_{TIS} – ukupna instalirana el. snaga na brodu [kW]
K_G – udaljenost od osnovice do težišta mase broda [m]
B_M – udaljenost od težišta uzgona do metacentra [m]
G_M – metacentarska visina [m]
C_{GMB} – koeficijent omjera GM i B
A_M – vertikalna ubrzanja na mostu broda (izražena u g)
X_{XADECK} – dostupna duljina otvorene palube [m]
X_{RDECK} – zahtijevana duljina otvorene palube [m]
A_{AOD} – dostupna površina otvorene palube [m^2]
A_{ROD} – zahtijevana površina otvorene palube [m^2]

Generacija 2

PB	PR	SO	V_S	V_{RS}	V_{TA}	V_{TR}	A_{TA}	A_{TR}	P_{24P}	P_{ITOT}	P_{TIS}	K_G	B_M	G_M	C_{GMB}	A_M	X_{ADECK}	X_{RDECK}	A_{AOD}	A_{ROD}
0	1	0	283	228	1394	1394	634	633	269	234	416	3,65	2,59	0,48	0,066	0,23	49	42,69	305,09	234,64
1	1	0	258	223	1378	1378	627	626	256	221	416	3,58	2,58	0,53	0,074	0,24	48,8	48,09	319,51	253,08
2	2	0,00025	376	229	1370	1372	623	624	277	244	416	3,47	2,8	0,64	0,094	0,28	51	49,94	291,81	262,97
3	3	0,00026	364	230	1449	1455	659	661	303	261	416	3,29	2,96	1,05	0,145	0,28	53,7	43,6	326,05	259,06
4	4	0,00035	233	230	1440	1438	655	654	298	257	416	3,32	3,08	1,01	0,133	0,28	52,5	42,28	353,85	235,15
5	5	0,00036	272	228	1493	1493	679	679	306	263	416	3,92	2,66	0,4	0,053	0,29	49,1	42,39	340,42	258,49
6	6	0,00038	338	224	1456	1452	662	660	282	240	416	3,62	2,7	0,83	0,105	0,29	52,2	39,39	369,17	202,18
7	7	0,00039	309	229	1435	1435	652	652	297	256	416	3,22	3,06	1,05	0,14	0,29	51,3	43,01	339,5	258,77
8	8	0,00042	274	229	1391	1391	632	632	279	239	416	3,23	3,06	1,04	0,139	0,29	51,2	42,55	338,1	234,95

9	9	0,00051	237	224	1391	1391	632	632	278	237	416	3,21	3,05	1,08	0,144	0,3	51,9	47,8	328,48	253,52
10	10	0,00056	331	231	1446	1445	657	657	272	237	416	3,8	2,97	0,87	0,118	0,31	56,7	41,13	353,43	212,36
11	11	0,00057	358	231	1454	1453	661	660	283	248	416	3,8	3,02	0,94	0,126	0,31	56,4	41,03	353,48	212,33
12	12	0,00077	302	227	1451	1451	660	659	285	243	416	3,23	2,57	0,79	0,115	0,33	62,1	41,84	380,15	206,8
13	13	0,00082	357	225	1397	1396	635	635	248	215	416	3,59	2,94	1,02	0,139	0,33	55,6	40,82	340,44	202,54
14	14	0,00083	252	225	1424	1423	647	647	274	233	416	3,3	3	0,94	0,128	0,33	55,7	40,52	366,7	206,04
15	15	0,00087	358	223	1520	1522	691	692	288	245	416	4,19	3,2	0,92	0,108	0,34	48,5	45,73	359,84	253,24
16	16	0,00094	252	225	1403	1403	638	638	265	225	416	3,26	3,07	1,07	0,144	0,34	55,4	40,5	364,62	206
17	17	0,00102	357	223	1497	1503	681	683	271	229	416	4,08	3,18	0,99	0,117	0,35	48	39,9	367,87	228,51
18	18	0,00117	352	222	1415	1414	643	643	258	223	416	3,66	3,17	1	0,12	0,37	45,4	38,54	340,23	204,86
19	19	0,00133	372	221	1368	1368	622	622	249	215	416	3,63	2,83	0,59	0,074	0,38	44,4	39,13	318,61	204,67
20	20	0,00138	252	225	1489	1490	677	677	290	248	416	3,7	3,31	1,11	0,136	0,39	53,4	38,91	393,08	205,86
21	21	0,00146	374	221	1379	1378	627	626	249	215	416	3,65	3,1	0,92	0,112	0,39	44,5	38,79	326,44	204,72
22	22	0,0016	237	224	1418	1414	645	643	277	240	416	3,89	2,64	0,55	0,075	0,41	52,6	46,19	352,15	233,77
23	23	0,00184	376	220	1289	1289	586	586	243	212	416	3,61	2,72	0,49	0,07	0,43	43,4	40,68	266,98	204,4
24	24	0,00192	249	224	1476	1476	671	671	276	240	416	4,03	2,74	0,56	0,074	0,44	51,3	41,27	358,87	228,8
25	25	0,00224	420	228	1360	1358	618	617	264	232	416	3,76	3,46	1,21	0,149	0,47	46,5	45,71	312,06	235,8
26	26	0,0039	420	227	1435	1432	652	651	302	259	416	3,74	2,41	0,34	0,048	0,25	46,6	43,49	300,27	258,11
27	27	0,00802	441	223	1315	1315	598	598	282	241	416	3,1	2,3	0,52	0,081	0,43	51,6	48,77	296,03	233,5
28	28	0,01016	308	226	1451	1451	660	659	260	227	416	3,6	2,39	0,32	0,046	0,28	57	43,05	338,11	229,44
29	29	0,01765	357	224	1414	1412	643	642	264	232	416	3,36	3,16	1,15	0,158	0,25	52,4	48,91	317,41	280,83
30	30	0,02813	424	230	1546	1546	703	703	311	268	416	4,17	2,52	0,29	0,038	0,31	51,8	42,56	354,58	255,38
31	31	0,03085	422	227	1410	1417	641	644	290	248	416	3,73	2,34	0,29	0,041	0,26	46,4	43,74	294,53	258,07
32	32	0,0326	250	223	1498	1497	681	681	295	253	416	3,99	2,61	0,26	0,036	0,22	48,7	47,81	321,2	280,37
33	33	0,04966	259	229	1407	1407	639	639	279	245	416	3,34	3,55	1,37	0,172	0,32	49,4	47,42	347,9	262,94
34	34	0,05169	325	230	1488	1492	676	678	303	260	416	3,78	2,7	0,68	0,085	0,28	52,7	39,82	376,41	208,46
35	35	0,05266	448	227	1440	1447	654	658	308	265	416	3,76	2,39	0,3	0,043	0,25	46,6	43,58	282,39	258,11
36	36	0,05461	344	230	1392	1390	633	632	272	237	416	3,27	2,31	0,23	0,035	0,32	54,5	45,48	315,39	259,05
37	37	0,06785	275	222	1304	1304	593	593	254	223	416	3,51	2,35	0,22	0,034	0,23	47,6	42,07	270,32	204,87
38	38	0,07131	390	230	1544	1547	702	703	310	266	416	4,09	2,54	0,44	0,057	0,29	52,8	42,36	366,14	259
39	39	0,07556	270	228	1497	1498	680	681	295	253	416	4,04	2,58	0,21	0,028	0,22	48,9	48,48	335,3	283,11
40	40	0,07897	208	225	1443	1443	656	656	262	229	416	3,65	2,81	0,69	0,102	0,25	56,7	43,31	331,58	229,38
41	41	0,0807	289	228	1521	1522	691	692	298	255	416	4,23	4	1,74	0,185	0,37	46,6	37,69	392,23	207,88
42	42	0,09451	278	223	1451	1451	660	660	282	240	416	3,62	2,51	0,37	0,052	0,2	50,9	42,6	310,13	228,66
43	43	0,09494	395	223	1369	1369	622	622	253	219	416	3,33	3,43	1,5	0,192	0,33	48,3	47,31	313,11	253,11
44	44	0,09869	436	223	1454	1454	661	661	264	231	416	3,69	3,58	1,62	0,193	0,34	48,3	41	350,16	248,86
45	45	0,10554	208	231	1518	1518	690	690	304	261	416	3,75	2,99	0,66	0,082	0,33	54,9	39,55	402,12	208,74
46	46	0,1072	312	231	1457	1457	662	662	283	248	416	3,82	2,98	0,87	0,116	0,3	56,9	41,08	373,75	212,39

47	47	0,1082	245	224	1468	1474	667	670	280	237	416	3,8	3,25	1,34	0,176	0,28	52,2	39,83	341,66	205,63
48	48	0,12238	293	228	1528	1528	695	695	313	271	416	4,07	2,63	0,22	0,03	0,21	49,1	48,35	323,84	283,15
49	49	0,12631	425	223	1319	1319	599	599	254	223	416	3,19	3,31	1,46	0,186	0,44	49,5	39,9	316,35	205,31
50	50	0,12911	318	228	1522	1522	692	692	283	238	416	3,56	3,2	1,65	0,206	0,44	62,2	39,65	434,76	206,97
51	51	0,13183	438	231	1478	1478	672	672	292	250	416	3,36	3,41	1,55	0,208	0,26	55,2	49,43	352,81	283,92
52	52	0,13192	469	231	1449	1448	658	658	295	251	416	3,6	2,28	0,4	0,057	0,39	57,5	43,86	353,08	235,7
53	53	0,13398	434	231	1482	1483	674	674	293	250	416	3,35	3,37	1,57	0,209	0,24	55,5	49,36	356,07	283,97
54	54	0,13503	358	227	1459	1455	663	662	290	253	416	4,09	2,93	0,72	0,092	0,32	45,8	42,08	321,56	258,11
55	55	0,13875	389	222	1393	1394	633	633	266	230	416	3,75	3,54	1,77	0,211	0,41	47	38,69	345,44	201,59
56	56	0,14224	205	230	1485	1491	675	678	299	255	416	3,93	3,28	1,25	0,163	0,27	52,7	40,23	348,9	211,89
57	57	0,14949	329	223	1551	1550	705	705	297	255	416	4,27	3,26	0,92	0,106	0,32	49	45,59	382,91	256,79
58	58	0,15115	290	222	1351	1350	614	614	256	224	416	3,61	2,37	0,15	0,024	0,22	48,1	43,51	275,76	228,24
59	59	0,15192	335	229	1419	1418	645	645	280	240	416	3,26	3,83	1,87	0,217	0,37	50,2	40,72	373,02	235,01
60	60	0,15222	473	231	1447	1447	658	658	294	250	416	3,59	2,27	0,4	0,057	0,4	57,4	43,9	351,69	232,2
61	61	0,15922	289	222	1350	1350	614	614	256	224	416	3,61	2,37	0,15	0,023	0,22	48,1	43,53	275,44	228,23
62	62	0,16942	477	228	1412	1410	642	641	297	254	416	3,59	2,5	0,61	0,088	0,31	49,4	43,73	303,26	234,65
63	63	0,17631	350	226	1449	1449	659	658	260	226	416	3,72	3,66	1,81	0,228	0,34	56,3	39,8	385,6	206,2
64	64	0,18002	242	227	1462	1463	665	665	290	246	416	3,48	2,48	0,73	0,108	0,34	61,5	49,49	375,47	258,14
65	65	0,18598	383	230	1387	1389	630	631	290	249	416	3,36	3,6	1,74	0,231	0,5	52,6	40,99	328,19	211,85
66	66	0,19001	261	226	1431	1431	650	650	249	217	416	3,23	3,93	1,95	0,233	0,43	57,3	40,73	393,87	229,7
67	67	0,19207	247	228	1343	1337	610	608	275	243	416	3,69	2,4	0,11	0,017	0,22	48,3	42,43	294,17	211,16
68	68	0,19316	337	230	1441	1442	655	655	302	259	416	3,35	2,97	1,02	0,139	0,27	54,2	48,96	330,2	263,45
69	69	0,19615	361	228	1528	1527	694	694	287	241	416	3,62	3,42	1,94	0,236	0,45	62,3	39,41	422,38	207,01
70	70	0,19749	400	229	1399	1399	636	636	279	244	416	3,3	4,04	2,08	0,237	0,42	49,8	38,91	358,24	211,67
71	71	0,19803	187	224	1460	1460	664	664	276	236	416	3,66	3,76	1,26	0,161	0,72	52,2	41,36	375,39	252,75
72	72	0,20363	211	229	1627	1627	739	740	306	263	416	4,34	4,32	2,01	0,203	0,32	48,4	38,77	429,94	234,97
73	73	0,20499	219	228	1498	1490	681	677	288	248	416	3,73	4,17	1,92	0,222	0,39	45,4	40,57	358,84	254,71
74	74	0,20866	197	225	1439	1444	654	656	259	226	416	3,63	3,63	1,5	0,186	0,44	53,5	40,85	382,77	229,16
75	75	0,21091	354	222	1416	1419	643	645	284	242	416	3,82	3,78	2,05	0,243	0,38	45,9	38,52	342,68	204,93
76	76	0,22002	220	230	1432	1429	651	650	298	257	416	3,32	3,07	1	0,132	0,29	52,4	42,31	352,53	235,13
77	77	0,22124	194	228	1505	1504	684	684	283	243	416	3,89	4,27	1,65	0,178	0,35	46,4	39,39	388	234,61
78	78	0,22361	184	225	1460	1464	664	666	281	240	416	3,35	2,39	0,23	0,035	0,31	56,7	43,28	335,85	225,88
79	79	0,22363	311	232	1463	1464	665	665	288	252	416	3,55	3,14	1,4	0,19	0,27	58,7	49,18	371,97	264,05
80	80	0,22763	219	225	1477	1475	671	671	285	242	416	3,59	2,95	0,77	0,097	0,35	54,2	39,17	392,76	205,94
81	81	0,22949	227	225	1492	1493	678	678	289	248	416	3,42	3,89	1,88	0,228	0,28	53,8	46,57	372,29	253,88
82	82	0,2314	299	223	1385	1380	629	627	255	224	416	3,48	4,56	2,3	0,252	0,41	47,4	43,66	362,05	233,37
83	83	0,23408	360	229	1411	1410	641	641	272	239	416	3,96	2,66	0,28	0,04	0,36	49,9	49,67	299,68	286,66
84	84	0,24751	277	231	1440	1439	654	654	292	251	416	3,09	4,04	2,23	0,259	0,41	55,5	39,2	412,03	208,91

85	85	0,25306	480	227	1409	1409	641	641	292	249	416	3,75	2,15	0,13	0,019	0,25	46,4	44,23	270,09	258,04
86	86	0,27205	435	223	1454	1455	661	661	264	231	416	3,68	3,58	1,63	0,195	0,34	48,3	40,99	350,26	252,33
87	87	0,27257	279	228	1436	1436	653	653	271	238	416	3,78	3,19	1,04	0,139	0,22	48,5	42,73	310,27	258,42
88	88	0,27719	237	232	1506	1502	684	683	297	256	416	3,33	4,52	2,3	0,272	0,42	57	46,82	404,13	263,98
89	89	0,28898	266	225	1428	1428	649	649	283	242	416	3,29	2,95	0,9	0,123	0,33	55,6	40,61	363,98	206,02
90	90	0,28947	343	230	1418	1414	644	643	272	239	416	3,46	3,18	1,07	0,147	0,25	52,7	49,41	320,74	287,06
91	91	0,28982	338	224	1451	1451	660	660	268	228	416	3,35	4,71	2,61	0,278	0,4	49,2	37,43	387,67	202,03
92	92	0,29171	374	221	1379	1378	627	626	249	215	416	3,65	3,1	0,92	0,112	0,39	44,5	38,79	326,44	204,72
93	93	0,29339	302	227	1451	1451	660	659	285	243	416	3,23	2,57	0,79	0,115	0,33	62,1	41,84	380,15	206,8
94	94	0,30204	214	224	1541	1542	701	701	266	229	416	3,91	3,96	1,8	0,202	0,41	51,8	39,57	409,24	229,07
95	95	0,30231	499	228	1364	1365	620	620	272	239	416	3,6	2,69	0,8	0,117	0,25	49,9	42,56	282,09	211,4
96	96	0,30237	195	226	1570	1575	714	716	286	244	416	3,59	3,89	1,91	0,22	0,31	56,4	40,49	431,7	253,42
97	97	0,30904	414	222	1386	1386	630	630	282	242	416	3,1	4,34	2,35	0,286	0,36	46,2	39,03	331,21	204,94
98	98	0,31669	503	223	1486	1487	676	676	286	245	416	3,52	3,45	1,36	0,161	0,38	48,7	40,83	341,86	248,91
99	99	0,33005	300	229	1403	1396	638	635	287	247	416	3,2	3,05	1,05	0,141	0,3	51	42,59	335,78	234,92
100	100	0,3342	423	229	1408	1408	640	640	277	240	416	3,7	2,6	0,6	0,084	0,37	52,4	49,52	323,73	263,19
101	101	0,33756	428	229	1379	1379	627	627	260	229	416	3,34	2,27	0,09	0,014	0,21	53,2	45,4	284,47	231,58
102	102	0,33934	464	222	1266	1267	576	576	272	232	416	3,13	2,04	0,12	0,021	0,41	49,8	49,97	269,65	233,2
103	103	0,33963	431	223	1436	1436	653	653	280	239	416	3,29	3,47	1,61	0,2	0,24	49,9	46,98	332,14	253,34
104	104	0,34156	302	228	1508	1513	685	688	286	244	416	4,23	4,02	1,77	0,188	0,38	46,6	37,68	375,82	207,87
105	105	0,34942	210	232	1461	1462	664	665	297	255	416	3,13	4,11	2,28	0,259	0,38	56,6	38,94	429,26	212,55
106	106	0,35851	501	228	1308	1307	595	594	288	248	416	3,29	2,24	0,24	0,038	0,4	50	50	261,29	235,98
107	107	0,3596	508	222	1408	1409	640	640	283	240	416	3,7	2,25	0,42	0,058	0,28	46,7	42,1	305,04	228,17
108	108	0,36723	205	230	1458	1452	663	660	280	244	416	3,51	4,25	2,2	0,261	0,39	52,8	40,97	387,56	235,32
109	109	0,3696	440	224	1419	1419	645	645	277	237	416	2,92	3,57	2,01	0,263	0,3	52,7	42,52	326,73	252,79
110	110	0,3696	148	229	1518	1517	690	690	302	259	416	4,3	3,24	0,66	0,077	0,3	48,3	38,54	381,95	211,44
111	111	0,3714	311	231	1456	1453	662	661	280	247	416	3,47	4,95	2,82	0,314	0,33	53,5	44,68	409	236,84
112	112	0,37142	166	231	1374	1373	625	624	288	248	416	3	3,23	1,33	0,183	0,37	55,2	41,29	358,67	212,16
113	113	0,38033	374	231	1457	1454	662	661	265	233	416	3,39	4,26	2,21	0,265	0,3	54,6	41,4	367,8	232,04
114	114	0,386	513	228	1441	1441	655	655	287	245	416	3,79	3,42	1,5	0,174	0,32	46	38,96	343,98	207,68
115	115	0,38915	257	224	1370	1371	623	623	252	216	416	3,7	2,6	0,66	0,091	0,44	51,6	40,54	339,21	205,49
116	116	0,39479	282	232	1579	1578	718	717	312	269	416	3,55	5,14	3,04	0,324	0,49	57,5	46,21	445,77	287,99
117	117	0,39771	399	228	1452	1453	660	660	272	237	416	3,76	5,36	3,1	0,324	0,65	45	39,36	357,09	230,99
118	118	0,40546	496	229	1448	1446	658	657	288	246	416	3,43	3,61	1,79	0,217	0,37	50,1	41,93	334,18	258,73
119	119	0,40762	428	220	1324	1329	602	604	253	221	416	3,77	2,59	0,22	0,032	0,43	43,2	42,61	260,34	224,17
120	120	0,41709	205	224	1478	1479	672	672	266	229	416	4,01	3,03	0,83	0,106	0,46	51,3	40,83	369,74	228,83
121	121	0,41749	336	232	1492	1496	678	680	289	247	416	3,43	5,11	3,15	0,333	0,57	56,1	38,17	434,17	209,11
122	122	0,41867	469	231	1449	1448	658	658	295	251	416	3,6	2,28	0,4	0,057	0,39	57,5	43,86	353,08	235,7

123	123	0,41978	367	226	1465	1465	666	666	269	228	416	3,04	4,52	2,87	0,326	0,44	56,6	40,22	421,78	229,67
124	124	0,42763	508	228	1411	1409	641	641	297	254	416	3,59	2,5	0,61	0,088	0,31	49,4	43,74	302,37	234,65
125	125	0,42882	490	230	1445	1445	657	657	288	245	416	3,73	2,91	1,06	0,135	0,35	51,9	40,43	351,4	211,8
126	126	0,43048	291	226	1491	1490	678	677	272	230	416	3,33	5,02	3,12	0,339	0,54	55,8	39,56	439,06	229,62
127	127	0,4385	193	231	1484	1491	675	678	296	253	416	3,25	4,13	2,3	0,267	0,3	54,5	40,72	408,35	235,56
128	128	0,44141	143	223	1390	1396	632	635	267	232	416	3,86	2,39	0,13	0,018	0,36	50,8	40,13	328,41	205,39
129	129	0,44462	153	225	1526	1519	694	691	267	231	416	3,94	3,97	1,8	0,201	0,41	52,4	39,52	416,27	225,67
130	130	0,44655	381	223	1473	1468	670	667	295	254	416	3,26	5,06	3,21	0,347	0,38	47,6	45,81	358,37	277,02
131	131	0,44767	191	231	1488	1484	676	674	284	242	416	3,24	4,14	2,31	0,268	0,3	54,6	40,71	409,16	235,57
132	132	0,4514	187	225	1458	1462	663	664	287	246	416	2,86	3,99	2,08	0,271	0,35	55,4	42,05	360,24	249,66
133	133	0,45807	153	225	1463	1463	665	665	270	229	416	3,36	2,45	0,28	0,042	0,31	57	43,11	341,3	225,93
134	134	0,46498	452	229	1567	1567	712	712	295	252	416	4,13	4,59	2,41	0,254	0,34	47,1	39,39	389,5	231,25
135	135	0,4681	353	228	1529	1530	695	696	298	252	416	3,6	3,12	1,57	0,197	0,43	62,3	39,74	413,67	206,99
136	136	0,46901	425	228	1370	1367	623	622	276	243	416	3,77	3,46	1,2	0,148	0,47	46,5	45,68	312,81	235,8
137	137	0,47196	543	222	1324	1325	602	602	243	211	416	3,36	2,67	0,96	0,142	0,35	48,6	43,84	269,34	228,33
138	138	0,47822	299	228	1428	1428	649	649	276	241	416	3,6	4,3	2,03	0,226	0,4	45,8	40	344,29	234,48
139	139	0,48015	451	221	1373	1372	624	624	248	218	416	3,5	3,87	1,55	0,195	0,29	42,6	40,83	287,42	227,74
140	140	0,48172	504	230	1474	1472	670	669	301	257	416	3,76	2,74	0,82	0,115	0,35	53,1	49,82	315,06	287,08
141	141	0,49916	355	230	1481	1478	673	672	276	239	416	3,69	3,95	2,01	0,24	0,4	51,1	41,64	368,23	258,88
142	142	0,50052	149	226	1612	1608	733	731	293	251	416	3,64	3,89	1,86	0,215	0,3	57,5	40,47	442,31	253,57
143	143	0,50123	434	231	1482	1483	674	674	293	250	416	3,35	3,37	1,57	0,209	0,24	55,5	49,36	356,07	283,97
144	144	0,50772	487	229	1473	1473	670	669	303	260	416	3,38	3,03	1,12	0,142	0,33	51,4	42,37	335,01	258,86
145	145	0,51243	254	223	1447	1447	658	658	269	228	416	3,27	5,65	3,66	0,376	0,33	46,5	38,7	377,19	225,03
146	146	0,51321	399	228	1413	1411	642	641	272	237	416	3,72	3,52	1,33	0,176	0,48	47,8	42,76	319,63	258,33
147	147	0,5172	211	222	1375	1377	625	626	261	222	416	3,31	4,19	2,01	0,239	0,26	44,9	38,44	338,21	204,8
148	148	0,52211	170	228	1523	1524	692	693	298	257	416	3,97	4,37	1,68	0,178	0,35	46,8	45,16	396,75	262,81
149	149	0,52681	523	230	1507	1505	685	684	300	258	416	3,55	4,09	1,93	0,215	0,48	50,9	46,69	374,24	287,07
150	150	0,5279	199	231	1497	1492	680	678	295	252	416	3,25	4,14	2,31	0,268	0,3	54,6	40,7	409,54	235,57
151	151	0,53154	309	230	1481	1481	673	673	283	242	416	3,51	4,79	2,56	0,267	0,39	49,8	37,72	415,61	211,8
152	152	0,53478	330	223	1420	1420	646	646	264	230	416	3,18	3,59	1,56	0,196	0,34	48,6	41,51	325,48	252,32
153	153	0,53737	179	231	1462	1463	665	665	278	243	416	3,15	5,05	3,07	0,336	0,35	53,2	40,07	416,87	231,99
154	154	0,5396	126	231	1486	1486	675	675	286	244	416	3,51	2,47	0,17	0,025	0,3	57,5	43,49	366,95	235,67
155	155	0,55038	437	225	1357	1355	617	616	263	229	416	3,54	2,5	0,61	0,087	0,47	55,6	47,46	324,97	234,11
156	156	0,56376	563	224	1438	1438	654	654	281	239	416	3,44	2,06	0,32	0,049	0,25	52,7	44,73	287,63	249,15
157	157	0,56834	201	228	1462	1462	664	665	286	246	416	3,82	4,23	1,92	0,22	0,38	45,8	45,91	362,46	262,58
158	158	0,57434	142	228	1392	1392	633	633	278	243	416	3,8	2,61	0,08	0,011	0,26	48,2	48,55	303,77	259,17
159	159	0,57488	169	233	1555	1552	707	706	310	269	416	3,64	2,85	0,43	0,061	0,39	60,7	43,51	378,64	259,93
160	160	0,57714	161	228	1465	1464	666	666	297	256	416	3,79	4,2	1,88	0,22	0,34	45,8	46,11	357,71	262,56

161	161	0,58156	151	226	1612	1608	733	731	293	251	416	3,65	3,89	1,85	0,214	0,3	57,5	40,47	442,22	250,09
162	162	0,59375	490	227	1404	1402	638	637	295	254	416	3,24	4,63	2,52	0,293	0,33	45,4	44,98	320,86	235,72
163	163	0,59896	148	231	1583	1582	720	719	284	247	416	4,11	4,03	1,7	0,188	0,38	53,1	39,87	427,64	235,45
164	164	0,61447	210	230	1571	1570	714	714	281	244	416	4,06	4,01	1,72	0,191	0,4	52,5	39,93	401,69	231,88
165	165	0,62217	96	226	1475	1477	670	671	282	240	416	3,38	2,44	0,24	0,036	0,31	57,8	43,18	363,73	226,01
166	166	0,62388	522	222	1418	1418	645	645	273	232	416	3,65	3,38	1,58	0,186	0,34	45,5	38,56	337,37	201,42
167	167	0,62783	208	227	1409	1411	640	641	285	246	416	3,44	4,41	2,11	0,244	0,25	45,2	38,62	349,09	211,06
168	168	0,64366	471	223	1381	1381	628	628	265	229	416	3,57	3,42	1,68	0,219	0,38	48,4	47,77	318,19	253,09
169	169	0,64521	518	230	1408	1408	640	640	299	256	416	3,08	2,96	1,27	0,175	0,27	53,9	49,5	314,59	263,41
170	170	0,65473	141	223	1390	1396	632	634	267	232	416	3,86	2,39	0,12	0,017	0,36	50,8	40,14	328,14	205,38
171	171	0,66276	142	223	1515	1518	689	690	301	261	416	3,71	4,28	1,94	0,238	0,3	48,7	46,73	362,47	280,48
172	172	0,66567	208	227	1405	1406	639	639	285	246	416	3,46	4,16	1,86	0,22	0,24	45,3	38,89	343,29	211,05
173	173	0,66902	521	229	1408	1408	640	640	287	245	416	3,53	3,98	2,32	0,282	0,35	49,3	39,87	344,74	211,53
174	174	0,67703	246	223	1459	1459	663	663	280	240	416	3,28	5,69	3,69	0,379	0,34	46,8	38,68	380,02	225,06
175	175	0,67704	124	225	1402	1402	637	637	271	231	416	3,21	2,99	0,91	0,131	0,3	56,2	41,25	338	206,05
176	176	0,68975	197	229	1464	1465	666	666	274	239	416	3,64	5,84	3,48	0,39	0,57	47,9	40,5	377,5	258,56
177	177	0,6916	74	225	1489	1489	677	677	280	236	416	3,69	3,11	1,14	0,144	0,37	55,8	39,26	401,53	202,64
178	178	0,70333	535	227	1441	1441	655	655	265	233	416	3,97	3,28	0,97	0,117	0,28	44,6	40,9	311,54	234,23
179	179	0,70792	158	227	1469	1469	668	668	283	246	416	4,48	2,96	0,37	0,047	0,32	46,2	47,09	337,23	262,5
180	180	0,71219	188	228	1432	1432	651	651	294	254	416	3,52	4,19	1,82	0,215	0,24	45,9	38,82	350,09	211,13
181	181	0,71478	471	228	1508	1508	685	685	291	258	416	3,71	4,42	2,14	0,233	0,27	45,9	40,35	362,96	258,33
182	182	0,71693	102	227	1619	1618	736	736	305	262	416	3,66	3,9	1,86	0,215	0,3	57,6	40,45	445,16	250,1
183	183	0,72733	390	232	1538	1537	699	699	285	243	416	3,18	6,23	4,52	0,451	0,35	55	39,32	439,07	232,35
184	184	0,73063	566	231	1498	1497	681	681	294	259	416	3,51	3,48	1,82	0,218	0,34	55,7	48,08	384,32	287,61
185	185	0,73176	578	222	1406	1407	639	640	269	228	416	3,57	3,38	1,66	0,194	0,34	44,9	38,62	315,57	201,34
186	186	0,7328	514	224	1510	1509	686	686	289	247	416	3,58	4,92	3,09	0,324	0,43	49	39,16	394,26	228,8
187	187	0,74083	451	221	1373	1372	624	624	248	218	416	3,5	3,87	1,55	0,195	0,29	42,6	40,83	287,42	227,74
188	188	0,7517	264	226	1490	1494	677	679	270	237	416	3,41	6,66	4,82	0,481	0,59	55,8	37,11	454,95	206,46
189	189	0,75287	63	229	1562	1562	710	710	304	260	416	4,16	3,38	1,02	0,115	0,25	50,3	38,14	411,98	208,27
190	190	0,75605	471	229	1438	1437	654	653	281	246	416	3,12	3,44	1,6	0,21	0,25	50,7	43,15	313,29	258,72
191	191	0,77106	222	232	1459	1458	663	663	294	252	416	3,1	4,1	2,29	0,262	0,39	56,4	38,98	426,32	212,52
192	192	0,78327	124	230	1416	1416	644	644	279	246	416	3,47	4,32	2,22	0,272	0,28	51,7	39,55	358,05	211,83
193	193	0,7837	103	228	1473	1473	670	670	294	253	416	3,81	4,2	1,85	0,217	0,33	46	46,15	359,97	262,58
194	194	0,78393	250	229	1502	1502	683	683	297	256	416	3,41	5,49	3,33	0,336	0,44	49,1	39,02	404,59	235,05
195	195	0,79686	416	225	1446	1446	657	657	259	225	416	2,96	5,15	3,44	0,358	0,4	52,8	39,26	404,93	225,82
196	196	0,79904	307	222	1416	1415	643	643	252	221	416	3,57	4,08	1,76	0,21	0,23	45	40,16	320,47	228,1
197	197	0,79926	429	224	1399	1405	636	638	262	230	416	3,31	2,27	0,13	0,02	0,2	53,6	51,09	287,91	280,85
198	198	0,82092	68	222	1488	1488	676	676	281	246	416	4,19	3,26	0,61	0,071	0,33	46,6	43,77	374,95	233,18

199	199	0,822	594	229	1486	1486	676	676	298	256	416	3,5	3,67	1,78	0,201	0,35	49,9	40,52	374,8	235

Generacija 300

PB	PR	SO	V_S	V_{RS}	V_{TA}	V_{TR}	A_{TA}	A_{TR}	P_{24P}	P_{ITOT}	P_{TIS}	K_G	B_M	G_M	C_{GMB}	A_M	X_{ADECK}	X_{RDECK}	A_{AOD}	A_{ROD}
0	1	0	413	227	1282	1280	583	582	250	218	416	3,33	2,32	0,35	0,054	0,25	46,4	43,22	252,48	207,41
1	1	0	232	224	1447	1453	658	660	300	258	416	3,42	2,4	0,4	0,058	0,25	53,2	49,46	314,86	280,87
2	1	0	339	223	1429	1429	650	650	285	249	416	3,43	2,51	0,53	0,078	0,25	51,5	49,59	300,42	280,65
3	1	0	231	224	1447	1453	658	660	300	258	416	3,42	2,4	0,4	0,059	0,25	53,2	49,46	314,85	280,87
4	1	0	430	223	1352	1349	614	613	266	233	416	3,28	2,33	0,41	0,063	0,22	50,2	50,21	273,22	256,64
5	1	0	282	222	1286	1291	585	587	245	213	416	3,32	2,3	0,33	0,051	0,24	49,2	48,43	271,61	229,72
6	1	0	375	223	1418	1414	644	643	272	239	416	3,43	2,64	0,67	0,098	0,23	50,3	43,77	291,48	252,36
7	1	0	392	223	1413	1413	642	642	284	248	416	3,37	2,54	0,65	0,093	0,23	49,5	49,49	288,06	280,42
8	1	0	371	223	1418	1414	644	643	278	245	416	3,5	2,69	0,67	0,096	0,24	49,8	49,44	291,82	280,45
9	1	0	311	223	1336	1336	607	607	266	234	416	3,41	2,62	0,66	0,098	0,24	50	47,67	288,28	233,35
10	1	0	282	222	1286	1291	585	587	245	213	416	3,32	2,3	0,33	0,051	0,24	49,3	48,43	271,77	229,72
11	1	0	324	222	1293	1292	588	587	251	220	416	3,22	2,23	0,33	0,052	0,25	49,1	42,85	266,26	205,03
12	1	0	308	222	1317	1318	599	599	256	224	416	3,28	2,27	0,32	0,051	0,25	49,5	42,63	272,5	201,62
13	1	0	332	222	1319	1319	599	600	262	230	416	3,32	2,31	0,34	0,053	0,25	49,4	42,4	274,67	205,1
14	1	0	376	222	1354	1353	615	615	263	231	416	3,36	2,39	0,4	0,06	0,22	48,2	43,66	272,04	228,27
15	1	0	319	223	1328	1333	604	606	263	231	416	3,39	2,62	0,68	0,1	0,24	49,8	47,74	285,74	229,84
16	1	0	224	222	1312	1316	596	598	259	227	416	3,52	2,47	0,37	0,055	0,24	47,6	47,44	278,4	233,02
17	1	0	431	221	1292	1293	587	588	259	227	416	3,19	2,31	0,48	0,074	0,23	46,6	42,46	255,11	204,74
18	1	0	339	222	1317	1317	599	599	259	227	416	3,28	2,3	0,37	0,057	0,25	49,3	42,48	272,61	205,08
19	1	0	239	222	1307	1306	594	594	249	218	416	3,52	2,44	0,35	0,052	0,25	47,6	47,5	277,62	233,03
20	1	0	315	223	1335	1335	607	607	265	232	416	3,4	2,62	0,66	0,098	0,25	50	47,71	287,29	233,34
21	1	0	418	221	1274	1274	579	579	251	220	416	3,16	2,3	0,49	0,075	0,24	46,6	42,59	253,23	201,25
22	1	0	284	223	1319	1319	600	600	258	226	416	3,29	2,28	0,32	0,05	0,25	49,7	42,58	273,74	205,11
23	1	0	312	222	1347	1347	612	612	275	238	416	3,57	2,21	0,35	0,052	0,25	49	47,92	278,1	233,2
24	1	0	307	229	1344	1344	611	611	276	243	416	3,51	2,63	0,57	0,084	0,23	50,1	48,24	288,99	236,07
25	1	0	306	223	1321	1321	600	600	261	229	416	3,32	2,3	0,33	0,051	0,25	49,6	42,42	275,55	205,12
26	1	0	412	227	1283	1280	583	582	250	218	416	3,33	2,32	0,35	0,054	0,25	46,4	43,21	252,65	207,42
27	1	0	433	227	1288	1286	586	585	261	229	416	3,32	2,32	0,37	0,057	0,25	46,3	43,23	251,24	207,4
28	1	0	240	222	1315	1314	598	597	261	228	416	3,51	2,48	0,39	0,058	0,24	47,6	47,46	278,26	233,03
29	1	0	412	227	1283	1280	583	582	250	218	416	3,33	2,32	0,35	0,054	0,25	46,4	43,21	252,64	207,42
30	1	0	264	222	1327	1331	603	605	263	231	416	3,53	2,49	0,4	0,059	0,25	47,4	47,38	277,95	229,53
31	1	0	265	222	1307	1306	594	594	249	218	416	3,52	2,44	0,35	0,052	0,25	47,6	47,51	277,35	233,03
32	1	0	410	221	1269	1275	577	580	254	223	416	3,17	2,3	0,48	0,073	0,24	46,6	42,57	253,87	204,74
33	1	0	287	222	1317	1313	599	597	258	225	416	3,5	2,43	0,36	0,054	0,25	47,6	47,53	276,67	229,54

34	1	0	430	227	1290	1291	586	587	261	230	416	3,26	2,3	0,4	0,062	0,23	46,8	43,12	256,34	207,48
35	1	0	230	222	1310	1315	596	598	257	225	416	3,51	2,48	0,39	0,058	0,25	47,5	47,45	277,62	229,53
36	1	0	436	221	1270	1270	577	577	248	217	416	3,11	2,29	0,53	0,081	0,24	46,2	42,65	250,24	201,2
37	1	0	377	222	1271	1271	578	578	238	206	416	3,16	2,28	0,46	0,071	0,24	47,1	42,65	256,51	201,31
38	1	0	371	227	1299	1301	590	591	262	230	416	3,31	2,3	0,35	0,054	0,23	47,7	43,07	262,35	207,58
39	1	0	334	228	1325	1326	602	603	264	232	416	3,38	2,6	0,66	0,098	0,25	49,5	42,52	282,42	207,85
40	1	0	436	227	1309	1310	595	596	267	235	416	3,29	2,31	0,38	0,058	0,25	47	43,05	258,36	207,5
41	1	0	366	223	1416	1412	644	642	278	245	416	3,49	2,68	0,68	0,098	0,24	49,8	49,47	290,52	280,44
42	1	0	340	228	1344	1345	611	611	270	237	416	3,41	2,61	0,64	0,094	0,25	49,7	42,45	284,71	207,88
43	1	0	435	221	1291	1291	587	587	254	222	416	3,15	2,29	0,49	0,076	0,24	46,6	42,59	253,32	201,25
44	1	0	395	221	1267	1267	576	576	237	206	416	3,15	2,27	0,46	0,071	0,24	46,6	42,64	253,26	201,24
45	1	0	303	222	1299	1298	590	590	250	219	416	3,24	2,26	0,35	0,054	0,24	49,4	42,7	270,37	201,59
46	1	0	345	222	1311	1312	596	596	264	232	416	3,34	2,38	0,4	0,06	0,23	48,1	48,04	270,02	233,08
47	1	0	299	223	1307	1306	594	594	260	228	416	3,36	2,32	0,33	0,05	0,24	49,6	48,23	276,82	233,25
48	1	0	431	221	1291	1292	587	587	255	224	416	3,16	2,3	0,49	0,075	0,24	46,6	42,56	254,07	204,74
49	1	0	279	222	1299	1300	591	591	252	220	416	3,25	2,27	0,34	0,054	0,25	49,4	42,66	271,29	205,08
50	1	0	310	222	1300	1301	591	591	256	224	416	3,29	2,29	0,35	0,055	0,25	49,4	42,49	272,87	205,08
51	1	0	418	222	1298	1296	590	589	260	229	416	3,22	2,32	0,46	0,07	0,23	46,9	42,44	257,6	204,79
52	1	0	291	222	1300	1299	591	590	253	222	416	3,26	2,28	0,34	0,054	0,25	49,4	42,65	270,91	201,6
53	1	0	437	221	1292	1292	587	587	257	225	416	3,18	2,31	0,49	0,075	0,23	46,5	42,49	254,08	201,25
54	1	0	371	223	1373	1373	624	624	265	232	416	3,46	2,67	0,68	0,099	0,24	49,5	49,11	287,51	253,11
55	1	0	343	222	1312	1312	596	596	263	231	416	3,33	2,36	0,37	0,056	0,22	48,1	48,08	269,69	233,08
56	1	0	315	222	1320	1319	600	600	259	227	416	3,31	2,3	0,34	0,053	0,25	49,5	42,45	274,14	201,62
57	1	0	405	222	1296	1296	589	589	257	226	416	3,21	2,24	0,38	0,058	0,23	47	42,63	255,92	204,78
58	1	0	317	223	1372	1376	623	626	265	232	416	3,43	2,62	0,63	0,094	0,24	50,1	43,36	288,81	228,53
59	1	0	299	229	1344	1344	611	611	276	243	416	3,51	2,63	0,57	0,084	0,23	50,1	48,24	288,93	236,07
60	1	0	427	222	1297	1297	589	590	259	227	416	3,26	2,26	0,44	0,068	0,24	47	42,64	255,22	204,78
61	1	0	307	223	1315	1315	598	598	259	227	416	3,37	2,6	0,67	0,1	0,25	49,7	47,78	284,76	233,3
62	1	0	419	227	1291	1289	587	586	261	229	416	3,34	2,32	0,35	0,054	0,25	46,5	43,2	253,02	207,42
63	1	0	428	227	1283	1284	583	584	251	219	416	3,26	2,33	0,48	0,074	0,23	47	43,17	255,78	207,5
64	1	0	309	222	1316	1316	598	598	261	228	416	3,3	2,29	0,34	0,053	0,25	49,3	42,54	271,8	205,08
65	1	0	366	222	1304	1304	593	593	255	223	416	3,15	2,31	0,47	0,073	0,25	49,1	42,8	265,87	201,57
66	1	0	418	222	1299	1300	591	591	256	224	416	3,21	2,28	0,41	0,063	0,24	47,4	42,57	259,89	204,83
67	1	0	250	222	1329	1333	604	606	265	233	416	3,53	2,49	0,38	0,056	0,25	47,7	47,38	279,98	233,05
68	1	0	225	222	1312	1316	596	598	259	227	416	3,52	2,48	0,39	0,057	0,24	47,6	47,41	278,8	233,02
69	1	0	315	222	1315	1315	598	598	259	227	416	3,27	2,29	0,37	0,057	0,24	49,2	42,55	270,68	205,06
70	1	0	345	222	1312	1312	596	596	263	231	416	3,33	2,35	0,37	0,056	0,22	48,1	48,09	269,4	233,08
71	1	0	417	222	1352	1352	615	614	263	231	416	3,36	2,45	0,52	0,077	0,24	47,7	43,57	270,01	228,21

72	1	0	351	223	1372	1372	624	624	265	232	416	3,46	2,64	0,65	0,094	0,24	49,5	49,15	286,41	253,11
73	1	0	400	222	1299	1299	591	590	259	227	416	3,25	2,26	0,38	0,058	0,23	47,1	42,52	257,77	204,79
74	1	0	326	222	1314	1312	597	597	257	225	416	3,26	2,29	0,38	0,058	0,24	49	42,6	269,01	205,03
75	1	0	344	223	1313	1310	597	596	261	229	416	3,21	2,33	0,43	0,066	0,24	49,7	42,66	270,93	205,12
76	1	0	390	221	1273	1278	579	581	255	223	416	3,22	2,25	0,39	0,06	0,24	46,8	42,63	254,81	204,76
77	1	0	431	222	1299	1299	591	591	258	226	416	3,21	2,38	0,57	0,087	0,25	47	42,37	258,93	204,79
78	1	0	376	222	1354	1353	615	615	263	231	416	3,36	2,39	0,4	0,06	0,22	48,2	43,66	272,04	228,27
79	1	0	423	222	1298	1298	590	590	254	223	416	3,2	2,28	0,42	0,065	0,25	47,3	42,61	258,9	201,34
80	1	0	426	222	1302	1299	592	590	261	229	416	3,27	2,26	0,43	0,066	0,24	47,1	42,61	256,3	204,8
81	1	0	432	221	1271	1277	578	580	255	223	416	3,23	2,24	0,44	0,069	0,25	46,8	42,75	252,54	204,75
82	1	0	249	222	1316	1316	598	598	261	228	416	3,51	2,48	0,39	0,057	0,25	47,6	47,41	278,97	233,04
83	1	0	433	221	1296	1296	589	589	258	226	416	3,25	2,25	0,44	0,067	0,24	46,9	42,69	253,96	201,29
84	1	0	314	222	1315	1315	598	598	259	227	416	3,29	2,3	0,35	0,054	0,24	49,2	42,55	270,92	201,58
85	1	0	422	221	1271	1276	578	580	255	223	416	3,22	2,24	0,45	0,069	0,25	46,7	42,76	251,8	204,74
86	1	0	427	221	1276	1276	580	580	252	220	416	3,21	2,23	0,45	0,07	0,25	46,7	42,79	251,49	201,26
87	1	0	310	222	1295	1295	589	589	253	221	416	3,25	2,28	0,37	0,058	0,25	49	42,63	268,29	201,54
88	1	0	371	222	1314	1313	597	597	264	232	416	3,34	2,36	0,37	0,056	0,23	48,2	48,08	270,53	233,09
89	1	0	379	222	1281	1282	582	583	249	217	416	3,16	2,34	0,5	0,078	0,25	47,1	42,47	259,17	201,32
90	1	0	299	222	1298	1298	590	590	256	224	416	3,27	2,29	0,36	0,056	0,24	49,2	42,55	270,6	205,05
91	1	0	320	228	1325	1324	602	602	264	232	416	3,38	2,6	0,66	0,097	0,25	49,4	42,51	281,27	207,83
92	1	0	438	222	1296	1297	589	589	257	226	416	3,16	2,43	0,66	0,1	0,25	47	42,29	259,11	204,8
93	1	0	299	223	1307	1306	594	594	260	228	416	3,36	2,32	0,33	0,05	0,24	49,6	48,23	276,82	233,25
94	1	0	303	222	1299	1298	590	590	250	219	416	3,24	2,26	0,35	0,054	0,24	49,4	42,7	270,37	201,59
95	1	0	374	223	1424	1423	647	647	284	248	416	3,41	2,53	0,59	0,085	0,24	50,7	49,53	296,55	280,56
96	1	0	430	227	1295	1295	589	589	262	230	416	3,25	2,44	0,59	0,089	0,24	47,1	42,87	260,27	207,52
97	1	0	236	222	1329	1335	604	607	267	234	416	3,55	2,49	0,37	0,054	0,24	47,8	47,39	280,61	233,06
98	1	0	415	222	1278	1278	581	581	252	220	416	3,18	2,29	0,48	0,073	0,25	46,9	42,5	256,3	201,29
99	1	0	305	223	1430	1430	650	650	285	249	416	3,43	2,51	0,54	0,078	0,25	51,5	49,57	300,3	280,66
100	1	0	300	227	1326	1326	603	603	264	232	416	3,53	2,46	0,35	0,052	0,25	47,4	42,16	276,11	207,57
101	1	0	370	222	1307	1305	594	593	261	229	416	3,27	2,31	0,4	0,061	0,23	47,8	42,41	263,69	204,89
102	1	0	377	222	1302	1303	592	592	258	226	416	3,24	2,3	0,41	0,063	0,24	47,6	42,48	261,59	201,38
103	1	0	338	223	1424	1424	647	647	285	249	416	3,42	2,55	0,6	0,087	0,24	50,5	49,41	296,34	280,53
104	1	0	434	221	1293	1294	588	588	254	223	416	3,17	2,3	0,49	0,074	0,25	46,8	42,49	256,02	201,29
105	1	0	431	223	1413	1413	642	642	284	248	416	3,37	2,53	0,65	0,093	0,24	49,6	49,51	289,06	280,42
106	1	0	421	222	1355	1352	616	614	263	231	416	3,36	2,45	0,51	0,076	0,24	47,7	43,57	269,98	228,21
107	1	0	316	228	1345	1346	612	612	270	238	416	3,42	2,61	0,63	0,094	0,24	49,8	42,43	285,02	207,88
108	1	0	394	227	1301	1300	591	591	262	230	416	3,31	2,41	0,49	0,074	0,25	47,1	42,82	262,16	207,53
109	1	0	409	221	1294	1295	588	589	254	223	416	3,2	2,24	0,4	0,062	0,24	46,9	42,65	254,8	201,28

110	1	0	408	227	1315	1315	598	598	268	236	416	3,33	2,3	0,33	0,051	0,25	47,3	42,99	261,09	207,53
111	1	0	292	223	1334	1334	606	606	265	232	416	3,4	2,61	0,66	0,098	0,24	49,9	47,72	286,19	233,33
112	1	0	315	222	1311	1312	596	596	256	224	416	3,25	2,25	0,32	0,05	0,25	49,3	42,74	268,67	201,58
113	1	0	431	227	1294	1294	588	588	262	230	416	3,26	2,39	0,54	0,082	0,24	47	42,98	258,28	207,51
114	1	0	434	221	1296	1296	589	589	258	226	416	3,25	2,24	0,43	0,067	0,24	46,9	42,71	253,81	201,29
115	1	0	328	222	1317	1317	599	599	259	227	416	3,3	2,3	0,35	0,054	0,25	49,3	42,47	273,02	201,6
116	1	0	431	222	1298	1299	590	590	258	226	416	3,21	2,38	0,57	0,087	0,25	46,9	42,37	258,78	204,79
117	1	0	327	222	1299	1299	590	590	256	224	416	3,28	2,29	0,35	0,054	0,24	49,3	42,59	271,31	205,07
118	1	0	404	222	1305	1304	593	593	261	229	416	3,26	2,29	0,38	0,059	0,24	47,7	42,46	263,32	204,88
119	1	0	407	221	1270	1276	577	580	254	223	416	3,2	2,24	0,39	0,061	0,23	46,7	42,67	253,22	204,73
120	1	0	234	222	1336	1341	607	610	267	235	416	3,56	2,62	0,52	0,075	0,25	48	47,11	285,9	233,1
121	1	0	407	221	1296	1296	589	589	257	226	416	3,23	2,26	0,39	0,06	0,23	46,9	42,56	256,09	201,29
122	1	0	413	222	1296	1296	589	589	259	227	416	3,23	2,25	0,38	0,058	0,23	46,9	42,56	256,3	204,77
123	1	0	429	227	1283	1284	583	584	251	219	416	3,26	2,33	0,48	0,074	0,23	47	43,17	255,8	207,5
124	1	0	322	222	1315	1316	598	598	259	227	416	3,29	2,29	0,34	0,053	0,24	49,3	42,57	271,62	201,6
125	1	0	427	221	1276	1276	580	580	252	220	416	3,21	2,23	0,45	0,07	0,25	46,7	42,79	251,49	201,26
126	1	0	371	227	1299	1301	590	591	262	230	416	3,31	2,3	0,35	0,054	0,23	47,7	43,07	262,35	207,58
127	1	0	396	222	1303	1300	592	591	261	229	416	3,26	2,26	0,37	0,057	0,23	47,2	42,49	258,91	204,81
128	1	0	404	222	1297	1297	589	589	258	226	416	3,22	2,25	0,39	0,061	0,23	47	42,58	256,38	204,78
129	1	0	323	222	1315	1316	598	598	259	227	416	3,27	2,29	0,35	0,055	0,24	49,3	42,58	271,42	205,07
130	1	0	310	222	1318	1319	599	599	262	230	416	3,31	2,3	0,33	0,051	0,24	49,6	42,5	274,07	205,11
131	1	0	406	227	1297	1296	590	589	262	230	416	3,3	2,3	0,35	0,054	0,23	47,1	43,05	259,37	207,51
132	1	0	321	222	1319	1320	599	600	262	230	416	3,32	2,31	0,34	0,052	0,24	49,5	42,4	274,74	205,1
133	1	0	239	222	1330	1335	604	607	267	234	416	3,55	2,49	0,36	0,054	0,24	47,8	47,34	281,36	233,06
134	1	0	299	223	1333	1333	606	606	265	232	416	3,39	2,62	0,68	0,1	0,24	49,7	47,69	285,42	233,31
135	1	0	432	221	1292	1294	587	588	257	225	416	3,19	2,3	0,47	0,071	0,23	46,8	42,51	255,67	201,28
136	1	0	310	223	1335	1335	607	607	265	232	416	3,4	2,61	0,66	0,097	0,25	50	47,72	287,19	233,34
137	1	0	317	222	1317	1317	599	599	259	227	416	3,28	2,3	0,37	0,057	0,25	49,3	42,47	272,65	205,08
138	1	0	298	223	1333	1334	606	606	266	234	416	3,41	2,59	0,64	0,095	0,24	49,9	47,76	285,64	233,33
139	1	0	383	222	1280	1280	582	582	249	217	416	3,17	2,28	0,46	0,071	0,24	47,2	42,64	256,92	201,32
140	1	0	296	223	1334	1334	606	606	266	234	416	3,41	2,59	0,64	0,095	0,24	50	47,76	285,9	233,34
141	1	0	314	222	1314	1314	597	597	257	225	416	3,26	2,29	0,36	0,056	0,24	49,2	42,61	270,33	205,06
142	1	0	376	223	1423	1422	647	646	284	248	416	3,41	2,53	0,59	0,085	0,24	50,6	49,51	295,77	280,55
143	1	0	251	222	1315	1315	598	598	261	228	416	3,52	2,49	0,41	0,06	0,25	47,4	47,37	278,25	233,01
144	1	0	401	221	1275	1276	580	580	249	217	416	3,16	2,27	0,45	0,07	0,24	46,6	42,63	253,58	201,25
145	1	0	427	222	1296	1296	589	589	256	224	416	3,18	2,3	0,48	0,073	0,24	47	42,46	257,36	204,79
146	1	0	400	221	1266	1266	576	576	237	206	416	3,16	2,23	0,42	0,066	0,24	46,6	42,74	251,8	201,24
147	1	0	400	221	1266	1266	576	576	237	206	416	3,16	2,23	0,42	0,066	0,24	46,6	42,74	251,83	201,24

148	1	0	320	222	1316	1316	598	598	257	226	416	3,27	2,29	0,36	0,055	0,25	49,4	42,61	271,48	205,08
149	1	0	423	221	1272	1273	578	579	248	217	416	3,12	2,29	0,51	0,079	0,24	46,5	42,66	251,95	201,24
150	1	0	396	222	1300	1300	591	591	261	229	416	3,24	2,3	0,42	0,064	0,23	47,2	42,42	259,54	204,81
151	1	0	398	227	1315	1315	598	598	268	236	416	3,33	2,3	0,33	0,051	0,25	47,3	42,99	260,98	207,53
152	1	0	414	222	1299	1297	591	590	261	229	416	3,24	2,26	0,38	0,058	0,23	47	42,53	257,07	204,79
153	1	0	230	222	1311	1316	596	598	258	226	416	3,52	2,47	0,37	0,055	0,25	47,5	47,41	278,43	229,53
154	1	0	432	221	1276	1276	580	580	252	220	416	3,15	2,39	0,63	0,095	0,25	46,7	42,46	255,13	201,28
155	1	0	411	221	1274	1274	579	579	248	217	416	3,16	2,24	0,43	0,067	0,24	46,5	42,72	251,75	201,23
156	1	0	407	221	1275	1275	580	579	249	217	416	3,16	2,23	0,42	0,065	0,24	46,6	42,74	252,04	201,24
157	1	0	429	222	1295	1296	589	589	256	224	416	3,18	2,3	0,48	0,074	0,24	46,9	42,46	257,06	204,78
158	1	0	252	222	1330	1334	604	606	265	233	416	3,54	2,48	0,38	0,055	0,25	47,7	47,38	280,05	233,05
159	1	0	423	222	1298	1298	590	590	254	223	416	3,2	2,28	0,42	0,065	0,25	47,3	42,61	258,9	201,34
160	1	0	295	222	1326	1330	603	605	263	231	416	3,53	2,44	0,34	0,051	0,25	47,6	47,52	277,13	229,55
161	1	0	436	227	1309	1310	595	596	267	235	416	3,29	2,31	0,38	0,058	0,25	47	43,05	258,36	207,5
162	1	0	292	222	1299	1299	590	591	256	224	416	3,28	2,29	0,35	0,055	0,24	49,3	42,57	271,45	205,07
163	1	0	342	222	1326	1326	603	603	263	230	416	3,36	2,64	0,73	0,108	0,25	48,9	47,67	280,75	229,73
164	1	0	307	222	1316	1316	598	598	259	227	416	3,29	2,29	0,34	0,053	0,24	49,4	42,57	271,63	201,6
165	1	0	317	222	1297	1296	589	589	253	221	416	3,26	2,28	0,36	0,056	0,25	49,1	42,65	269,3	201,57
166	1	0	414	221	1293	1293	588	588	254	223	416	3,19	2,23	0,39	0,06	0,24	46,8	42,7	253,86	201,27
167	1	0	339	223	1424	1424	647	647	285	249	416	3,42	2,55	0,6	0,086	0,24	50,5	49,41	296,31	280,53
168	1	0	310	222	1315	1315	598	598	259	227	416	3,27	2,29	0,36	0,056	0,24	49,3	42,57	271,28	205,07
169	1	0	436	221	1292	1292	587	587	257	225	416	3,18	2,31	0,49	0,074	0,23	46,5	42,49	254,16	201,25
170	1	0	429	221	1291	1292	587	587	254	222	416	3,16	2,29	0,49	0,075	0,24	46,7	42,59	254,01	201,27
171	1	0	424	221	1293	1294	588	588	257	225	416	3,19	2,31	0,47	0,072	0,23	46,8	42,51	255,55	201,28
172	1	0	422	221	1293	1295	588	588	259	227	416	3,2	2,31	0,47	0,071	0,23	46,8	42,48	256,21	204,77
173	1	0	426	227	1289	1287	586	585	261	229	416	3,32	2,32	0,36	0,055	0,25	46,4	43,24	252,11	207,41
174	1	0	247	222	1316	1316	598	598	258	226	416	3,5	2,48	0,4	0,059	0,25	47,6	47,41	278,82	229,55
175	1	0	310	223	1326	1331	603	605	263	231	416	3,37	2,61	0,69	0,102	0,24	49,7	47,77	284,35	229,83
176	1	0	438	222	1296	1296	589	589	257	226	416	3,19	2,4	0,61	0,092	0,24	46,9	42,38	257,51	201,31
177	1	0	299	227	1326	1326	603	603	264	232	416	3,52	2,46	0,36	0,053	0,25	47,5	42,18	276,5	207,59
178	1	0	264	222	1332	1332	605	605	263	231	416	3,53	2,48	0,38	0,056	0,25	47,6	47,41	278,96	229,55
179	1	0	236	222	1329	1335	604	607	267	234	416	3,55	2,49	0,37	0,054	0,24	47,8	47,39	280,61	233,06
180	1	0	395	221	1267	1267	576	576	237	206	416	3,15	2,27	0,46	0,071	0,24	46,6	42,64	253,26	201,24
181	1	0	289	222	1318	1318	599	599	256	224	416	3,28	2,27	0,33	0,051	0,25	49,6	42,62	272,63	201,62
182	1	0	314	222	1315	1315	598	598	259	227	416	3,29	2,29	0,35	0,054	0,24	49,2	42,55	270,84	201,58
183	1	0	430	223	1413	1413	642	642	283	248	416	3,37	2,54	0,66	0,094	0,24	49,5	49,49	289,05	280,42
184	1	0	299	222	1298	1298	590	590	256	224	416	3,27	2,29	0,36	0,056	0,24	49,2	42,55	270,6	205,05
185	1	0	400	227	1295	1295	589	589	262	230	416	3,28	2,3	0,37	0,056	0,23	47,1	43,09	258,28	207,51

186	1	0	394	227	1301	1300	591	591	262	230	416	3,31	2,41	0,49	0,074	0,25	47,1	42,82	262,16	207,53
187	1	0	298	222	1318	1318	599	599	262	230	416	3,31	2,3	0,33	0,052	0,24	49,5	42,5	273,6	205,1
188	1	0	436	222	1296	1296	589	589	257	226	416	3,19	2,4	0,61	0,092	0,24	46,9	42,38	257,85	201,31
189	1	0	420	222	1293	1295	588	589	259	227	416	3,2	2,31	0,47	0,071	0,23	46,9	42,48	256,48	204,77
190	1	0	306	222	1297	1296	589	589	253	221	416	3,25	2,28	0,36	0,056	0,25	49,1	42,65	268,76	201,56
191	1	0	326	222	1314	1312	597	597	257	225	416	3,26	2,29	0,38	0,058	0,24	49	42,6	269,01	205,03
192	1	0	424	222	1302	1299	592	590	261	229	416	3,27	2,27	0,43	0,067	0,24	47,1	42,59	256,51	204,8
193	1	0	248	222	1316	1315	598	598	258	226	416	3,5	2,47	0,39	0,058	0,25	47,6	47,43	278,5	229,55
194	1	0	386	223	1414	1414	643	643	284	248	416	3,37	2,53	0,64	0,092	0,23	49,7	49,51	288,73	280,43
195	1	0	378	223	1423	1422	647	647	284	248	416	3,41	2,53	0,6	0,086	0,24	50,6	49,52	296,06	280,55
196	1	0	287	222	1317	1313	599	597	258	225	416	3,5	2,43	0,36	0,054	0,25	47,6	47,53	276,67	229,54
197	1	0	401	221	1277	1277	580	581	252	220	416	3,2	2,25	0,4	0,063	0,24	46,7	42,64	253,92	201,26
198	1	0	414	221	1293	1293	588	588	254	223	416	3,19	2,23	0,39	0,06	0,24	46,8	42,69	253,82	201,27
199	1	0	311	228	1326	1326	603	603	264	232	416	3,39	2,6	0,65	0,097	0,25	49,5	42,5	282,59	207,85

Prilog 10: Izlazni rezultati programa Monako PRB (III dio)

Značenje kratica:
PB – redni broj projekta
PR – rang projekta
SO – suma prekoračenja ograničenja
OMAT – opcija materijala trupa
OPSNS – opcija pogona
OPENS – opcija doplova
OANS – opcija autonomnosti
OBGNS – opcija pramčanog topa
OASMS – opcija protubrodskog raketnog sustava
OLTOR – opcija torpednog naoružanja
OAAS – opcija PZO sustava
ORS – opcija radarske zamjetivosti
OICS – opcija IS zamjetivosti
OMAGS – opcija magnetske zamjetivosti
ONBC – opcija NBC sustava

Generacija 2

PB	PR	SO	OMAT	OPSNS	OPENS	OANS	OBGNS	OASMS	OLTOR	OAAS	ORS	OICS	OMAGS	ONBC
0	1	0	1	10	2	1	1	1	2	1	1	1	0	0
1	1	0	1	10	2	1	1	2	0	0	0	1	0	0
2	2	0,00025	1	6	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
3	3	0,00026	1	1	1	1	2	1	2	1	1	0	1	0
4	4	0,00035	0	4	1	2	1	1	2	1	0	0	1	1
5	5	0,00036	1	1	1	1	2	1	1	1	0	0	1	0
6	6	0,00038	0	5	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0
7	7	0,00039	1	4	1	2	2	0	2	1	0	1	1	0
8	8	0,00042	1	4	1	2	1	1	2	1	0	1	0	0
9	9	0,00051	0	4	1	1	1	2	0	0	1	1	1	0
10	10	0,00056	0	8	0	1	0	1	2	1	1	0	0	1
11	11	0,00057	0	8	0	1	0	1	2	1	1	1	1	1
12	12	0,00077	1	5	1	2	0	0	2	0	0	1	1	1
13	13	0,00082	0	8	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0

14	14	0,00083	1	5	0	2	0	1	2	0	0	1	0	1
15	15	0,00087	1	5	1	1	1	2	0	0	1	0	1	0
16	16	0,00094	1	5	0	2	0	1	1	0	0	1	0	0
17	17	0,00102	1	5	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0
18	18	0,00117	1	10	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
19	19	0,00133	1	10	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
20	20	0,00138	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
21	21	0,00146	1	10	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
22	22	0,0016	1	9	1	1	0	2	1	0	0	0	1	1
23	23	0,00184	2	6	2	1	0	1	1	0	1	0	0	0
24	24	0,00192	2	10	2	0	1	0	2	0	0	0	1	1
25	25	0,00224	1	6	0	1	0	2	0	1	1	0	0	1
26	26	0,0039	1	0	1	0	2	1	1	1	0	1	1	0
27	27	0,00802	2	3	2	1	0	2	2	0	0	0	1	1
28	28	0,01016	0	8	1	2	1	0	1	0	1	0	1	0
29	29	0,01765	1	7	1	1	2	2	1	0	1	1	0	1
30	30	0,02813	0	5	0	1	2	1	0	1	0	0	1	1
31	31	0,03085	1	0	1	0	2	1	1	1	0	1	0	0
32	32	0,0326	1	5	1	1	2	2	1	0	1	0	1	0
33	33	0,04966	1	9	2	2	1	2	1	1	0	1	1	0
34	34	0,05169	0	5	2	1	0	1	0	1	0	1	1	1
35	35	0,05266	1	0	1	0	2	1	1	1	1	0	1	1
36	36	0,05461	0	9	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0
37	37	0,06785	0	7	0	2	0	1	1	0	1	0	1	0
38	38	0,07131	0	5	1	1	2	1	2	1	0	0	1	0
39	39	0,07556	1	5	1	1	2	2	0	1	0	1	0	0
40	40	0,07897	0	8	0	2	1	1	1	0	1	1	1	0
41	41	0,0807	1	5	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
42	42	0,09451	0	2	0	2	1	1	1	0	1	0	1	0
43	43	0,09494	1	9	1	2	1	2	0	0	1	0	0	0
44	44	0,09869	0	7	1	1	2	1	0	0	0	0	0	1
45	45	0,10554	1	2	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
46	46	0,1072	0	8	0	1	0	1	2	1	0	1	1	1
47	47	0,1082	0	2	0	2	0	1	1	0	1	0	0	1

48	48	0,12238	1	5	1	1	2	2	0	1	1	0	1	1
49	49	0,12631	0	6	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
50	50	0,12911	1	1	2	2	0	0	1	0	0	0	0	1
51	51	0,13183	1	2	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0
52	52	0,13192	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
53	53	0,13398	0	2	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0
54	54	0,13503	1	9	1	1	2	1	1	1	0	0	1	0
55	55	0,13875	1	10	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
56	56	0,14224	0	2	0	2	0	1	1	1	1	1	1	0
57	57	0,14949	1	5	1	1	1	2	1	0	0	0	1	1
58	58	0,15115	0	7	0	2	1	1	1	0	1	0	1	0
59	59	0,15192	0	4	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0
60	60	0,15222	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
61	61	0,15922	0	7	0	2	1	1	1	0	1	0	1	0
62	62	0,16942	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
63	63	0,17631	0	8	0	1	0	1	2	0	0	0	0	1
64	64	0,18002	1	0	2	1	1	2	2	0	0	1	1	0
65	65	0,18598	1	3	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1
66	66	0,19001	1	7	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
67	67	0,19207	0	7	0	1	0	1	2	1	0	1	1	1
68	68	0,19316	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
69	69	0,19615	1	1	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1
70	70	0,19749	1	10	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
71	71	0,19803	2	3	0	1	2	1	2	0	0	0	0	0
72	72	0,20363	1	5	2	2	1	1	1	1	0	1	1	0
73	73	0,20499	2	4	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0
74	74	0,20866	0	6	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
75	75	0,21091	1	4	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
76	76	0,22002	0	4	1	1	1	1	2	1	0	0	1	1
77	77	0,22124	1	5	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
78	78	0,22361	2	2	2	1	1	1	0	0	1	1	1	0
79	79	0,22363	0	7	2	2	1	2	2	1	0	1	1	1
80	80	0,22763	1	2	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
81	81	0,22949	1	5	1	0	1	2	0	0	1	0	1	1

82	82	0,2314	0	7	0	0	0	2	1	0	1	1	0	1
83	83	0,23408	1	6	0	0	2	2	1	1	1	1	0	0
84	84	0,24751	1	1	2	1	0	1	0	1	0	1	1	0
85	85	0,25306	1	0	1	0	2	1	2	1	1	0	0	0
86	86	0,27205	0	7	1	1	2	0	2	0	0	1	0	1
87	87	0,27257	0	7	1	2	2	1	1	1	1	1	0	0
88	88	0,27719	2	5	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0
89	89	0,28898	1	5	0	2	0	1	1	0	0	0	1	1
90	90	0,28947	1	7	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0
91	91	0,28982	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
92	92	0,29171	1	10	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
93	93	0,29339	1	5	1	2	0	0	2	0	0	1	1	1
94	94	0,30204	0	10	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
95	95	0,30231	1	8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
96	96	0,30237	1	5	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0
97	97	0,30904	2	2	0	1	0	1	2	0	0	1	1	1
98	98	0,31669	1	5	0	2	2	1	0	0	1	1	1	0
99	99	0,33005	1	4	1	2	1	0	2	1	0	1	1	0
100	100	0,3342	1	9	0	2	1	2	2	1	0	0	0	1
101	101	0,33756	0	8	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
102	102	0,33934	2	4	0	1	0	2	2	0	0	0	1	0
103	103	0,33963	1	5	1	2	1	2	0	0	1	1	1	0
104	104	0,34156	1	5	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
105	105	0,34942	0	1	2	1	0	1	2	1	0	0	1	0
106	106	0,35851	2	4	0	1	0	2	0	1	1	0	1	1
107	107	0,3596	0	1	1	2	1	1	2	0	0	0	1	0
108	108	0,36723	1	9	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
109	109	0,3696	1	3	2	1	2	0	1	0	1	1	0	1
110	110	0,3696	0	2	0	0	0	1	2	1	0	0	1	0
111	111	0,3714	0	8	0	1	0	2	0	1	0	0	1	1
112	112	0,37142	1	3	2	2	0	1	1	1	0	1	1	0
113	113	0,38033	0	8	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
114	114	0,386	1	5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
115	115	0,38915	1	9	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0

116	116	0,39479	1	1	0	1	2	2	2	1	1	0	1	0
117	117	0,39771	2	9	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
118	118	0,40546	0	4	0	2	2	1	1	1	1	0	0	0
119	119	0,40762	2	6	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
120	120	0,41709	2	10	2	0	1	0	2	0	0	1	0	1
121	121	0,41749	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
122	122	0,41867	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
123	123	0,41978	0	0	1	2	1	0	2	0	0	1	0	0
124	124	0,42763	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
125	125	0,42882	0	5	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1
126	126	0,43048	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0
127	127	0,4385	0	1	2	1	1	0	2	1	0	0	1	0
128	128	0,44141	1	10	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
129	129	0,44462	0	10	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1
130	130	0,44655	1	4	1	1	2	2	0	0	1	0	1	1
131	131	0,44767	0	1	2	1	1	0	1	1	0	0	0	0
132	132	0,4514	2	1	2	2	2	1	0	0	1	1	1	0
133	133	0,45807	2	2	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0
134	134	0,46498	1	2	0	2	1	1	0	1	0	0	0	1
135	135	0,4681	1	1	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
136	136	0,46901	1	6	0	1	0	2	0	1	1	0	1	1
137	137	0,47196	1	6	1	2	1	0	2	0	1	0	0	0
138	138	0,47822	1	9	1	1	1	0	2	1	1	0	1	0
139	139	0,48015	2	8	1	0	1	0	2	0	1	1	0	1
140	140	0,48172	1	0	0	1	2	2	1	1	1	1	0	1
141	141	0,49916	0	9	0	2	2	0	1	1	0	0	0	0
142	142	0,50052	1	5	2	1	2	0	2	0	0	1	0	1
143	143	0,50123	0	2	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0
144	144	0,50772	0	0	1	2	2	1	1	1	1	1	1	0
145	145	0,51243	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
146	146	0,51321	2	9	0	0	2	0	2	1	0	1	0	0
147	147	0,5172	1	5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
148	148	0,52211	1	5	0	1	1	2	1	1	0	1	1	0
149	149	0,52681	1	0	0	1	2	2	1	1	1	1	0	1

150	150	0,5279	0	1	2	1	1	0	1	1	0	0	1	0
151	151	0,53154	0	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
152	152	0,53478	1	9	2	1	2	0	1	0	1	1	0	1
153	153	0,53737	1	10	2	2	1	1	0	1	0	1	1	0
154	154	0,5396	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0
155	155	0,55038	1	6	1	1	0	2	2	0	1	1	1	0
156	156	0,56376	1	5	1	0	2	1	0	0	1	0	0	1
157	157	0,56834	2	4	2	2	1	2	1	1	0	1	0	0
158	158	0,57434	1	9	1	0	1	2	0	1	1	0	1	0
159	159	0,57488	2	5	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1
160	160	0,57714	2	4	2	2	1	2	1	1	0	1	1	0
161	161	0,58156	1	5	2	1	2	1	0	0	0	0	0	1
162	162	0,59375	2	2	0	1	0	2	0	1	1	0	1	1
163	163	0,59896	0	10	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
164	164	0,61447	0	10	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
165	165	0,62217	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0
166	166	0,62388	1	5	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
167	167	0,62783	1	5	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0
168	168	0,64366	1	9	0	2	1	2	0	0	0	0	1	0
169	169	0,64521	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
170	170	0,65473	1	10	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
171	171	0,66276	2	5	1	0	2	2	2	0	0	1	1	1
172	172	0,66567	1	5	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0
173	173	0,66902	1	5	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
174	174	0,67703	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
175	175	0,67704	1	5	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
176	176	0,68975	2	9	0	0	2	0	2	1	0	1	0	0
177	177	0,6916	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
178	178	0,70333	1	8	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
179	179	0,70792	1	9	0	2	1	2	2	1	0	0	0	1
180	180	0,71219	1	5	0	1	0	0	2	1	0	1	1	1
181	181	0,71478	1	8	1	2	2	1	2	1	0	1	1	1
182	182	0,71693	1	5	2	1	2	1	0	0	0	1	1	1
183	183	0,72733	1	2	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0

184	184	0,73063	0	7	1	2	2	2	1	1	0	1	1	1
185	185	0,73176	1	5	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
186	186	0,7328	1	5	0	2	1	1	2	0	0	1	1	1
187	187	0,74083	2	8	1	0	1	0	2	0	1	1	0	1
188	188	0,7517	1	6	1	2	0	1	1	0	1	0	1	1
189	189	0,75287	0	2	2	0	0	1	0	1	0	1	1	0
190	190	0,75605	1	10	1	1	2	0	1	1	1	0	1	0
191	191	0,77106	0	1	2	1	0	0	2	1	0	0	1	0
192	192	0,78327	1	7	2	1	0	1	1	1	1	0	1	1
193	193	0,7837	2	4	2	2	1	2	1	1	0	1	0	1
194	194	0,78393	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0
195	195	0,79686	1	10	2	2	1	1	0	0	1	1	0	1
196	196	0,79904	1	8	1	0	1	0	2	0	1	0	0	1
197	197	0,79926	0	8	0	1	2	2	1	0	1	1	0	1
198	198	0,82092	1	10	1	1	0	2	1	0	0	0	1	1
199	199	0,822	1	5	1	0	1	0	2	1	0	0	1	1

Generacija 300

PB	PR	SO	OMAT	OPSNS	OPENS	OANS	OBGNS	OASMS	OLTOR	OAAS	ORS	OICS	OMAGS	ONBC
0	1	0	0	6	1	2	0	0	0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	3	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
2	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
3	1	0	0	3	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
4	1	0	0	6	2	2	1	2	2	0	1	1	1	1
5	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	0	0	0
6	1	0	0	6	2	2	2	0	2	0	1	1	1	1
7	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
8	1	0	0	6	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
9	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
10	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	0	0
11	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	0
12	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
13	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
14	1	0	0	6	2	2	1	1	2	0	1	1	1	1
15	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1
16	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	0
17	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
18	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
19	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	0	0
20	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
21	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
22	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
23	1	0	0	9	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
24	1	0	0	6	2	1	0	2	0	1	1	1	1	1
25	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
26	1	0	0	6	1	2	0	0	0	1	1	1	0	0
27	1	0	0	6	1	2	0	0	0	1	1	1	1	0
28	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	0
29	1	0	0	6	1	2	0	0	0	1	1	1	0	0
30	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1
31	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	0	0
32	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
33	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0
34	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0

35	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0
36	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
37	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0
38	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	0	1	0
39	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
40	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1
41	1	0	0	6	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
42	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1
43	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
44	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0
45	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
46	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
47	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	0
48	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
49	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	0
50	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
51	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
52	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
53	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
54	1	0	0	6	2	2	1	2	0	0	1	1	1	1
55	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
56	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
57	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
58	1	0	0	6	2	2	1	1	2	0	1	1	1	1
59	1	0	0	6	2	1	0	2	0	1	1	1	1	1
60	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
61	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	0
62	1	0	0	6	1	2	0	0	0	1	1	1	1	0
63	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0
64	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
65	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
66	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
67	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
68	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	0
69	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
70	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
71	1	0	0	6	2	2	1	1	2	0	1	1	1	1
72	1	0	0	6	2	2	1	2	0	0	1	1	1	1

73	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
74	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
75	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
76	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
77	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
78	1	0	0	6	2	2	1	1	2	0	1	1	1	1
79	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
80	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
81	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
82	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	0
83	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
84	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
85	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
86	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
87	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
88	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
89	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
90	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
91	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
92	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
93	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	0
94	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
95	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
96	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
97	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
98	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
99	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
100	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
101	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
102	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
103	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
104	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
105	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
106	1	0	0	6	2	2	1	1	2	0	1	1	1	1
107	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1
108	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
109	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
110	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1

111	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
112	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
113	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
114	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
115	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
116	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
117	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
118	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
119	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
120	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
121	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
122	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
123	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0
124	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
125	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
126	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	0	1	0
127	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
128	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
129	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
130	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
131	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
132	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
133	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
134	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
135	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
136	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
137	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
138	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
139	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
140	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
141	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
142	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
143	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	0
144	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
145	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
146	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0
147	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0
148	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1

149	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
150	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
151	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1
152	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
153	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0
154	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
155	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
156	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
157	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
158	1	0	0	6	2	2	0	2	1	0	1	1	1	1
159	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
160	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1
161	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1
162	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
163	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1
164	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
165	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
166	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
167	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
168	1	0	0	6	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1
169	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
170	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
171	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
172	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
173	1	0	0	6	1	2	0	0	0	1	1	1	1	0
174	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0
175	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1
176	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
177	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
178	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	1
179	1	0	0	6	2	2	0	2	2	0	1	1	1	1
180	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0
181	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
182	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
183	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
184	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	0
185	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0
186	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0

187	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
188	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1
189	1	0	0	6	2	2	0	1	1	0	1	1	1	1
190	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
191	1	0	0	6	2	2	0	0	1	0	1	1	1	1
192	1	0	0	6	2	2	0	1	2	0	1	1	1	1
193	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0
194	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
195	1	0	0	9	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1
196	1	0	0	6	2	2	0	2	0	0	1	1	1	0
197	1	0	0	6	2	2	0	1	0	0	1	1	1	0
198	1	0	0	6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
199	1	0	0	6	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0

ŽIVOTOPIS

Andrija Ljulj rođen je 28. 10. 1966. u Maovicama, općina Vrlika. Osnovnu školu, te prva dva razreda srednje škole završava u Vrlici 1983. Zadnja dva razreda srednje škole matematičko-informatičkog smjera završava u Splitu 1985. Vojni rok završava 1986. godine, te se upisuje na Fakultet elektrotehnike strojarstva i brodogradnje u Splitu, smjer brodogradnja 1986. Završava studij brodogradnje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu 1991. Na FSB u Zagrebu radi kao znanstveni novak od 1991. do 1995., te magistrira na temu „Analiza njihanja i valnog opterećenja vitkih višetrupaca na morskim valovima“. Tijekom rada na FSB u Zagrebu izdaje jedan stručni članak s temom primjene metode konačnih elemenata kod određivanja hidrodinamičke reakcije, te je koautor nekoliko znanstvenih članaka i studija. 1995. zapošljava se u Ministarstvo obrane RH gdje je radio na nekoliko radnih mjesta sve do 2012:

- Glavni stožer OSRH, Ured Pomoćnika Načelnika GS za HRM, viši savjetnik,
- Zapovjedništvo HRM, Odjel za logistiku, referent i časnik za potporu operacija,
- Glavni stožer OSRH, Uprava za logistiku, Donačelnik Odsjeka za logističko operativno planiranje.

Tijekom rada u MORH-u završava niz stručnih tečajeva s temama:

- planiranje združenih operacija,
- NATO i UN logistička potpora,
- logističko izvješćivanje,
- civilno vojni odnosi i upravljanje katastrofama.

Tijekom rada u MORH-u završava temeljnu časničku izobrazbu u Učilištu HRM 1997 te Mornaričku stožernu školu u SAD-u, Rhode Island, Newport. 2003. sudjeluje u mirovnoj operaciji ISAF u Afganistanu, kao časnik za logističke operacije u Zapovjedništvu multinacionalne brigade u Kabulu. Od 2005. do 2008. radi u NATO Agenciji za standardizaciju u Bruxellesu kao časnik za operativnu standardizaciju.

Od 2008. radi u Ministarstvu obrane RH, Upravi za materijalne resurse, Službi za razvoj opremanje i modernizaciju, o Odjelu naoružanja HRM kao viši savjetnik za brodostrojarstvo.

BIOGRAPHY

Andrija Ljulj was born at 28. October 1966. in Maovice, district Vrlika. He attended the primary school and first two grades of the secondary school in Vrlika. He transferred to Split 1985 where he finished the secondary school in the field of information technology and mathematics. He attended and finished military obligations during 1986 and afterwards enrolled in the studies of naval architecture at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. He graduated in 1991. He worked at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture as young researcher from 1991 to 1995. He got masters degree at the end of 1995 in field of „Analysis of the motion and wade loadings of multihulls on the wawes“. During his work at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture he issued one article related to the hydrodynamic reaction using finite element method and he was coauthor of several other articles. On the beginning of 1995 he got new job in the Ministry of Defense of the Republic of Croatia where he worked on different positions:

- General Staff of the Croatian Armed Forces, Office of Deputy Chief of Staff for Navy, high advisor,
- Navy Headquarters, Department for logistics, Staff officer for maintenance and Staff officer for support of Navy operations,
- General Staff of the Croatian Armed Forces, Department for logistic, Chief of section for logistic operational planning,

During his stay in the Ministry of defense he attended several courses:

- Joint operations planning,
- NATO and UN logistic support,
- Logistic reporting,
- Civil military cooperation and management of crisis situations,

He attended Basic Officers School at the Navy Officers School in Split and graduated in 1997. During 1999 and 2000 he attended Naval Staff College in Newport, Rhode Island, USA and graduated in June 2000. 2003 he participated in ISAF (International Security Assistance Force) peacekeeping operation in Kabul, Afghanistan. From 2005 to 2008 he worked for NATO Standardization Agency in NATO HQ in Brussels as officer for operational standardization. From 2008 to 2012 he worked as advisor in the Directorate for material resources in Ministry of defense.