

Projekt putničkog broda za plovidbu Mediteranom

Gluščić, Petar

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:425287>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Petar Gluščić

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Vedran Slapničar, dipl. ing.

Student:

Petar Gluščić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr sc. Vedranu Slapničaru, dipl. ing., na velikoj pomoći i brojnim savjetima koji su omogućili izradu ovog rada.

Zahvaljujem se obitelji, prijateljima i kolegama koji su mi bili veliki oslonac tijekom studiranja.

Petar Gluščić



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Petar Gluščić** JMBAG: 0035210019

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt putničkog broda za plovidbu Mediteranom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Passenger ship design for Mediterranean navigation**

Opis zadatka:

Potrebno je projektirati putnički brod za putovanja po Mediteranu.

U prikladnom programskom sklopu izraditi model projekta broda prema sljedećim zahtjevima:

- Namjena broda: kružna putovanja.
- Broj putnika: 12 smještenih u dvokrevetnim kabinama visoke klase.
- Broj članova posade cca. 10.
- Brzina krstarenja: 12 čv.
- Doplov: 2000 nm.
- Bruto tona: do 500.
- Područje plovidbe: 2 (prema HRB) velika obalna plovidba-Mediteran.
- Klasifikacijsko društvo: Hrvatski registar brodova (HRB).

Potrebno je izraditi sljedeće:

- Nacrt općeg plana broda.
- Kratki tehnički opis.
- Brodske linije.
- Nacrt glavnog rebra.
- Dijagram mase praznog opremljenog broda.
- Karakteristična stanja krcanja broda s provjerom trima, stabiliteta i čvrstoće.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

4. svibnja 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Vedran Slapničar

Datum predaje rada:

6. srpnja 2023.

Predviđeni datumi obrane:

17. – 21. srpnja 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD.....	1
2. PUTNIČKI BRODOVI	3
3. POMORSKA KRSTARENJA.....	6
3.1. Općenito o pomorskim krstarenjima.....	6
3.2. Pomorska krstarenja u svijetu	6
3.3. Pomorska krstarenja u Europi	8
3.4. Pomorska krstarenja u Hrvatskoj	10
3.5. Trendovi pomorskih krstarenja	11
4. IZBOR PROTOTIPA	12
5. ANALIZA PROTOTIPA.....	16
5.1. Osnovne karakteristike.....	17
5.2. Odnos glavnih dimenzija	17
5.3. Značajke prototipa.....	18
5.3.1. Froudeov broj.....	18
5.3.2. Koeficijent vitkosti.....	18
5.3.3. Konstanta admiraliteta	18
5.3.4. Koeficijent punoće	19
5.3.5. Koeficijent punoće vodne linije	19
5.3.6. Vertikalni položaj težišta istisnine	19
5.3.7. Poprečni metacentarski radijus	20
6. SINTEZA PROJEKTA.....	21
6.1. Određivanje preliminarnih dimenzija projekta	21
6.2. Značajke projekta	22
6.2.1. Froudeov broj.....	22
6.2.2. Koeficijent punoće	22
6.2.3. Volumen i masa istisnine	22
6.2.4. Koeficijent vitkosti.....	23
6.2.5. Koeficijent punoće vodne linije	23
6.2.6. Vertikalni položaj težišta istisnine	23
6.2.7. Poprečni metacentarski radijus	23
6.3. Odabir pogonskog stroja	23
6.4. Uvjeti prostornosti, stabiliteta i nadvođa	25
6.4.1. Uvjet prostornosti.....	25

6.4.2.	Uvjet stabiliteta	26
6.4.3.	Uvjet minimalnog nadvođa.....	26
6.4.4.	Nove dimenzije projekta	27
6.5.	Određivanje mase projekta.....	27
6.5.1.	Masa trupa i nadgrađa	27
6.5.1.1.	Masa trupa.....	27
6.5.1.2.	Masa nadgrađa	28
6.5.2.	Masa opreme	28
6.5.3.	Masa pogonskog postrojenja.....	28
6.5.4.	Masa praznog opremljenog broda.....	28
6.5.5.	Nosivost	29
6.5.6.	Istisnina	29
6.6.	Izračun gaza i novih značajki prema novim glavnim dimenzijama.....	30
6.6.1.	Određivanje gaza.....	30
6.6.2.	Vertikalni položaj težišta istisnine	30
6.6.3.	Poprečni metacentarski radijus	30
6.6.4.	Maksimalni vertikalni položaj težišta sustava	30
6.7.	Određivanje položaja težišta praznog opremljenog broda	31
6.7.1.	Težište čelika (trupa i nadgrađa).....	31
6.7.1.1.	Težište trupa.....	31
6.7.1.2.	Težište nadgrađa	31
6.7.2.	Težište opreme	31
6.7.3.	Težište pogonskog postrojenja.....	34
6.7.4.	Težište praznog opremljenog broda.....	34
7.	STABILITET.....	35
7.1.	Forma	36
7.2.	Stanje krcanja broda 1 – potpuno nakrcan brod s punim tankovima	37
7.3.	Stanje krcanja broda 2 – potpuno nakrcan brod s 10% zapremnine tankova	38
8.	KONSTRUKCIJA	40
8.1.	Sistem gradnje.....	40
8.2.	Oplata trupa.....	40
8.2.1.	Opločenje dna i uzvoja.....	40
8.2.2.	Opločenje boka	41
8.2.3.	Opločenje glavne palube.....	42
8.3.	Potpalubna struktura	43
8.3.1.	Sponje glavne palube	43
8.3.2.	Okvirne sponje	44
8.3.3.	Podveze glavne palube.....	44
8.4.	Orebrenje trupa	45
8.4.1.	Obična rebra boka	45
8.4.2.	Okvirna rebra boka	46
8.5.	Struktura dna	46
8.5.1.	Rebrenice	46
8.5.2.	Hrptenica.....	47
8.5.3.	Uzdužni nosači.....	47
8.6.	Nepropusne pregrade	47
8.6.1.	Broj nepropusnih pregrada.....	47

8.6.2. Sudarne pregrade.....	48
8.7. Oplata nadgrađa	48
8.7.1. Opločenje boka	48
8.7.2. Opločenje palube	49
8.8. Potpalubna struktura nadgrađa.....	50
8.8.1. Palubne sponje	50
8.8.2. Podveze	50
8.9. Orebrenje nadgrađa	50
9. PROPULZIJA.....	52
9.1. Komponente propulzije.....	52
9.1.1. Koeficijent sustrujanja	52
9.1.2. Koeficijent upijanja.....	53
9.1.3. Promjer vijka i zračnosti između vijka i trupa	53
10. OPREMNI BROJ	55
11. TEHNIČKI OPIS.....	56
11.1. Namjena i opis broda	56
11.2. Nosivost	56
11.3. Kapaciteti	56
11.4. Brzina i radijus plovidbe	56
11.5. Stabilitet i trim	57
11.6. Klasa.....	57
11.7. Oprema.....	57
12. PREGLED BODSKIH PROSTORA.....	59
12.1. Kabine	59
12.1.1. Putničke kabine.....	59
12.1.1.1. Tip „A“	59
12.1.1.2. Tip „B“	60
12.1.1.3. Tip „C“	61
12.1.1.4. Tip „D“	62
12.1.2. Kabine za posadu	63
12.2. Zajednički prostori	64
13. TROŠKOVI IZGRADNJE	68
14. ZAKLJUČAK.....	69
LITERATURA.....	70
PRILOZI.....	72

POPIS SLIKA

Slika 1.	Odnos osnivanja broda i osnovnih brodograđevnih disciplina	1
Slika 2.	Flying Fox, 136 m [6].....	5
Slika 3.	Wonder of the Seas, 362 m [7].....	5
Slika 4.	Broj putnika na brodovima za krstarenje [9].....	7
Slika 5.	Plan putovanja zapadnim Mediteranom [12]	8
Slika 6.	Plan putovanja istočnim Mediteranom [12]	9
Slika 7.	Plan putovanja sjevernom Europom [13].....	9
Slika 8.	Kružna putovanja stranih brodova, dani boravka i putnici u Hrvatskoj od 2019. do 2022. [5]	10
Slika 9.	Najposjećenije luke u Hrvatskoj 2022. godine.....	11
Slika 10.	Zavisnost širine o duljini broda.....	13
Slika 11.	Zavisnost gaza o duljini broda.....	14
Slika 12.	Zavisnost gaza o širini broda.....	14
Slika 13.	Zavisnost bruto tona o duljini broda.....	15
Slika 14.	Zavisnost brzine o snazi motora.....	15
Slika 15.	Leadship F45, 44,65 m [16].....	16
Slika 16.	Motor MTU 8V 2000 M72 [17].....	24
Slika 17.	Dimenzije motora MTU 8V 2000 M72 [17]	25
Slika 18.	Vremenski kriterij stabiliteta [20]	36
Slika 19.	Forma broda	37
Slika 20.	Preporučene zračnosti između vijka i trupa [25].....	53
Slika 21.	Površina izložena bočnom vjetru	55
Slika 22.	Putnička kabina-Tip „A“	59
Slika 23.	Putnička kabina-Tip „B“	60
Slika 24.	Putnička kabina-Tip „C“	61
Slika 25.	Putnička kabina-Tip „D“	62
Slika 26.	Kabina za kapetana, časnika stroja i časnika palube.....	63
Slika 27.	Kabina za ostatak posade	64
Slika 28.	Blagovaonica	64
Slika 29.	Terasa na glavnoj palubi.....	65
Slika 30.	Dnevni boravak	65
Slika 31.	Terasa na gornjoj palubi	66
Slika 32.	Terasa na sunčanoj palubi	66

POPIS TABLICA

Tablica 1. Udio putnika na pomorskim krstarenjima s obzirom na destinacije	7
Tablica 2. Baza brodova	13
Tablica 3. Karakteristike broda Feadship F45 [15].....	17
Tablica 4. Karakteristike motora MTU 8V 2000 M72.....	24
Tablica 5. Dimenzije putničkih kabina.....	25
Tablica 6. Masa praznog opremljenog broda	29
Tablica 7. Mase koje čine nosivost projekta	29
Tablica 8. Zatvorene površine po palubama	32
Tablica 9. Udio površina paluba u ukupnoj zatvorenoj površini	32
Tablica 10. Udio opreme i sustava u masi praznog opremljenog broda	33
Tablica 11. Centracija praznog opremljenog broda	34
Tablica 12. Stanje krcanja broda 1	37
Tablica 13. Vremenski kriterij – stanje krcanja 1	38
Tablica 14. Stanje krcanja broda 2	38
Tablica 15. Vremenski kriterij – stanje krcanja 2	39
Tablica 16. Odabrana oprema prema opremnom broju [26].....	55
Tablica 17. Cijena čelika i opreme.....	68
Tablica 18. Ostali troškovi	68

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. DR – 1 – A3 – 01 Opći plan
2. DR – 1 – A3 – 02 Opći plan
3. DR – 2 – A3 – 01 Glavno rebro
4. DR – 3 – A3 – 01 Brodske linije
5. DR – 3 – A3 – 02 Brodske linije

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	cm^2	smična površina
B	m	širina broda
C_{ADM}	/	konstanta admiraliteta
C_B	/	koeficijent punoće (blok koeficijent)
C_M	/	koeficijent vitkosti
C_P	/	prizmatički koeficijent
C_{WL}	/	koeficijent punoće vodne linije
DWT	t	nosivost
En	/	opremni broj
f_{CB}	/	korekcijski faktor koeficijenta punoće
f_{CWL}	/	korekcijski faktor koeficijenta punoće vodne linije
f_{KB}	/	korekcijski faktor vertikalnog položaja istisnine
f_{MF}	/	korekcijski faktor metacentarskog radijusa
Fn	/	Froudeov broj
f_{trup}	/	volumenski koeficijent
g	m/s^2	gravitacijska konstanta
GT	/	bruto tona
H	m	visina broda
k	/	koeficijent materijala
\overline{KB}	m	vertikalni položaj težišta istisnine
\overline{KG}	m	vertikalni položaj težišta broda
l	m	nepoduprti raspon
L	m	duljina broda
L_{OA}	m	duljina preko svega
L_{PP}	m	duljina između okomica
L_{WL}	m	duljina na vodnoj liniji
m_{LS}	t	masa praznog opremljenog broda
m_M	t	masa pogonskog postrojenja
$m_{nadgrađe}$	t	masa nadgrađa
m_O	t	masa opreme
m_{st}	t	masa čelika
m_{trup}	t	masa trupa
\overline{MF}	m	metacentarski radijus
\overline{MG}	m	metacentarska visina
p	kN/m^2	opterećenje

P_B	kW	snaga stroja
R^2	/	koeficijent korelacije
s	m	razmak između rebara
t	/	koeficijent upijanja
t_i	mm	debljina opločenja na raznim pozicijama
T	m	gaz broda
V	čv	brzina broda
V_{trup}	m ³	volumen trupa
w	/	koeficijent sustrujanja
W	cm ³	moment otpora
\overline{XG}	m	uzdužni položaj težišta
∇	m ³	volumen istisnine
Δ	t	masa istisnine
ρ	kg/m ³	gustoća

SAŽETAK

U ovom radu proveden je postupak osnivanja putničkog broda za plovidbu Mediteranom. Projektnim zadatkom bilo je potrebno osigurati smještaj za 12 putnika u dvokrevetnim kabinama visoke klase uz 9 članova posade.

U uvodnom dijelu objašnjen je postupak osnivanja broda te metode osnivanja. Nadalje je opisan putnički brod i njegove vrste, gdje je istaknut brod za krstarenje s detaljnim opisom. Prikazani su trendovi krstarenja u svijetu, Europi i Hrvatskoj.

Temelj ovog rada bilo je kreiranje baza brodova, za koju je provedena regresijska analiza brodskih značajki. Iz baze brodova odabran je prototip te je provedena analiza njegovih značajki, nakon čega su sintezom tih značajki određene značajke projekta. Upotrebom programskog paketa GHS provjerene su značajke stabiliteta projekta, dok se konstrukcija odredila prema pravilima Hrvatskog registra brodova. Oprema, brodski vijak i glavni stroj određeni su prema zahtjevima HRB-a i sličnim brodovima. Nadalje, dan je kratki tehnički opis broda te su prikazani prostori na brodu, uključujući kabine za smještaj putnika i posade te zajedničke prostore. U konačnici su procijenjeni troškovi izgradnje broda.

Ključne riječi: osnivanje broda, brod za krstarenje, prototip, stabilitet broda, GHS, konstrukcija broda, Hrvatski registar brodova, tehnički opis.

SUMMARY

In this work, the process of ship design of a passenger ship for the navigation in the Mediterranean was carried out. The project task was to provide accommodation for 12 passengers in high-class double cabins with 9 crew members.

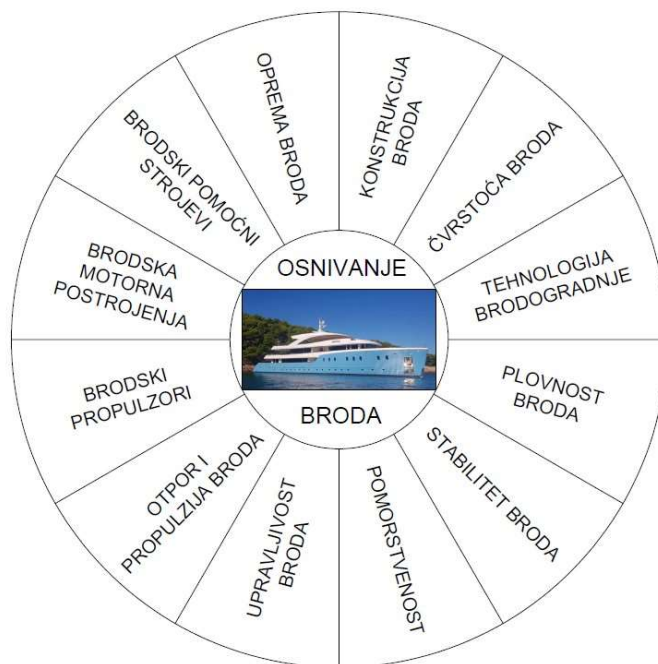
In the introductory part, the process of ship design and the ship design methods are explained. Furthermore, the passenger ship and its types are described, where a cruise ship is highlighted with a detailed description. Cruise trends in the world, Europe and Croatia are presented.

The basis of this work was creating the ships database, for which a regression analysis of ship features was carried out. A prototype was selected from the ships database and an analysis of its features was carried out, after which the project features were determined by synthesizing those features. Using the GHS software package, the stability features of the project were verified, while the construction was determined according to the rules of the Croatian Register of Shipping. Equipment, propeller and main engine are determined according to the requirements of HRB and similar ships. Furthermore, a brief technical description of the ship is given and the spaces on the ship are shown, including cabins for the accommodation of passengers and crew and common areas. In the end, the costs of building the ship were estimated.

Key words: ship design, cruise ship, prototype, ship stability, GHS, ship construction, Croatian Register of Shipping, technical description.

1. UVOD

Osnivanje broda multidisciplinarn je postupak čiji je cilj izrada projekta broda do te razine da posluži odobrenju od strane klasifikacijskog društva te pritom kao osnova za razradu kompletne tehničke dokumentacije za gradnju, ispitivanja i eksploataciju broda. Svaki projekt započinje postavljanjem projektnih zadataka od strane brodovlasnika koje projektant treba razgraničiti i povezati, nadalje prepoznati probleme u projektu, organizirati rješavanje tih problema, također koordinirati rad specijalista i osigurati komunikaciju s bitnim vanjskim faktorima. Osnivanje broda preklapa se sa svim disciplinama brodograđevne struke te koristi njihova saznanja na temelju kojih izgrađuje poseban pristup projektiranju broda [1]. Slika 1. prikazuje simbolično preklapanje osnivanja broda sa svim brodograđevnim disciplinama.



Slika 1. Odnos osnivanja broda i osnovnih brodograđevnih disciplina

Postoje četiri metode osnivanja broda [1]:

- rekonstrukcija prototipa,
- osnivanje po spirali,
- jednokriterijska optimizacija,
- višekriterijska optimizacija.

Rekonstrukcijom prototipa svojstva novog broda se određuju prema već postojećem brodu. To je najstarija i najjednostavnija metoda osnivanja broda, a njena pouzdanost ovisi o izboru dobrog prototipa, pouzdanosti podataka o prototipu te o pouzdanosti opsega ekstrapolacije.

Osnivanje po spirali određeno je izradom projekta prolaskom kroz radijalno postavljena problemska područja (masa broda, volumen broda, glavne dimenzije, otpor i propulzija, oprema broda, itd.). Bit metode je postepeno približavanje željenom cilju kroz rješavanje jednostavnih i proturječnih zahtjeva.

Jednokriterijska optimizacija provodi se pomoću računala. Kao i kod osnivanja po spirali, ova metoda također ima definirana problemska područja, od kojih se jedno područje postavlja kao ključni kriterij te se pomoću algoritma na računalu određuju ostale značajke broda.

Višekriterijska optimizacija razlikuje se u odnosu na jednokriterijsku prema tome što je kod ove metode moguće postaviti više ključnih kriterija, što je u pravilu češće s obzirom da se za ocjenu kvalitete projekta postavlja više kriterija, a ne samo jedan.

Cilj ovog rada bilo je osnivanje putničkog broda za kružno putovanje po Mediteranu za 12 putnika smještenih u dvokrevetnim sobama visoke klase upotrebom metode rekonstrukcije prototipa.

2. PUTNIČKI BRODOVI

Prema konvenciji SOLAS (eng. *Safety of Life at Sea*) iz 1974. putničkim brodom se smatra svaki brod na mehanički pogon koji prevozi više od 12 putnika, što uključuje i osobe koje su zaposlene na tom brodu [2]. Pravila koja propisuju klasifikacijska društva vezana uz konstrukciju, sigurnost i dizajn putničkih brodova ovise o veličini broda, broju putnika, ruti i duljini plovidbe. Najviše pažnje pridaje se pravilima o sigurnosti na brodu, tako je SOLAS izdao propise za projektiranje konstrukcije putničkih brodova čime se pažnja stavlja na uzdužne i poprečne nepropusne pregrade, stavljajući na taj način pažnju na stabilitet broda, nadalje potrebno je osigurati i protupožarne pregrade i palube te vezanu protupožarnu opremu za sprječavanje požara na brodu. Kako brodovi ne bi ostali bez pogona uslijed kvara motora, opremaju se s minimalno dva motora čime se osigurava sigurno približavanje broda obali prilikom kvara na jednom motoru. Brodovi moraju biti opremljeni odgovarajućom radiokomunikacijom kako bi se u slučaju nesreće mogla zatražiti brza pomoć, sukladno tome važno je brod opremiti sredstvima i uređajima za spašavanje kojima se osiguravaju ljudski životi do dolaska pomoći.

Prema službi koju obavljaju, putnički brodovi se dijele na [3]:

- Linijski putnički brod
Prevozi putnike po stalnoj ruti prema utvrđenom redu plovidbe. Unutrašnji prostor zauzimaju kabine za putnike, restorani te ostali javni prostori. Dije se na obalne i preoceanske putničke brodove.
- Brod za krstarenje
Namijenjen za kružna turistička putovanja, a može biti različite konstrukcije i veličine.
- Izletnički brod
Duljine 20 do 40 metara i brzine 10 do 12 čvorova, namijenjen najčešće za jednodnevne izlete s velikim brojem putnika, na kraćim relacijama i u mirnim morima. Putnici su smješteni na šetnoj palubi ili salonu.

- Hidrobus

Manji brod za linijski ili rjeđe izletnički prijevoz putnika na kratkim relacijama u zaštićenom obalnom pojasu (rijeke, jezera, morske uvale).

- Trajekt

Brod za linijski prijevoz putnika, cestovnih i željezničkih vozila preko mora, rijeka ili jezera [4].

Brod za krstarenje, odnosno kružno putovanje, je putnički brod čija namjena nije prijevoz osoba između luka, nego je namijenjen za uživanje u putovanju i popratnim sadržajima na brodu kao što su luksuzni ugođaj, avanture, stjecanje znanja o posjećenim lokalitetima, istraživanju netaknute prirode, zabavi, sportskim aktivnostima, wellnessu ili rekreaciji. Nudi uslugu smještaja te je opremljen za boravak ljudi u trajanju od nekoliko dana ili tjedana [5].

S obzirom na razinu usluge dijeli se u nekoliko kategorija: brod niske, srednje i visoke klase te u ekskluzivne brodove. Oni se međusobno razlikuju prema broju putnika, veličini kabine, površini javnih prostora po putniku te trajanju krstarenja [3]:

- Brod niske klase

- 2500 do 3000 putnika,
- površina javnih prostora 4 do 5 m² po putniku,
- trajanje putovanja 3 do 7 dana.

- Brod srednje klase

- 1200 do 1600 putnika,
- veći javni prostori bolje kvalitete,
- trajanje putovanja 7 do 14 dana.

- Brod visoke klase

- za sve putnike apartmani, najčešće vanjski s balkonom,
- površina javnih prostora 7 do 8 m² po putniku.

- Ekskluzivni brod

- najviše klase,
- manji broj putnika.

Slika 2. prikazuje brod Flying Fox duljine 136 m, koji može primiti 22 putnika uz 54 člana posade [6], dok Slika 3. prikazuje brod Wonder of the Seas duljine 362 m, koji može primiti 7084 putnika uz 2300 članova posade [7].



Slika 2. Flying Fox, 136 m [6]



Slika 3. Wonder of the Seas, 362 m [7]

Flying Fox i Wonder of the Seas brodovi su za kružna putovanja, čijom usporedbom su jasno uočljive razlike u ugođaju putovanja između klasa brodova za krstarenje.

3. POMORSKA KRSTARENJA

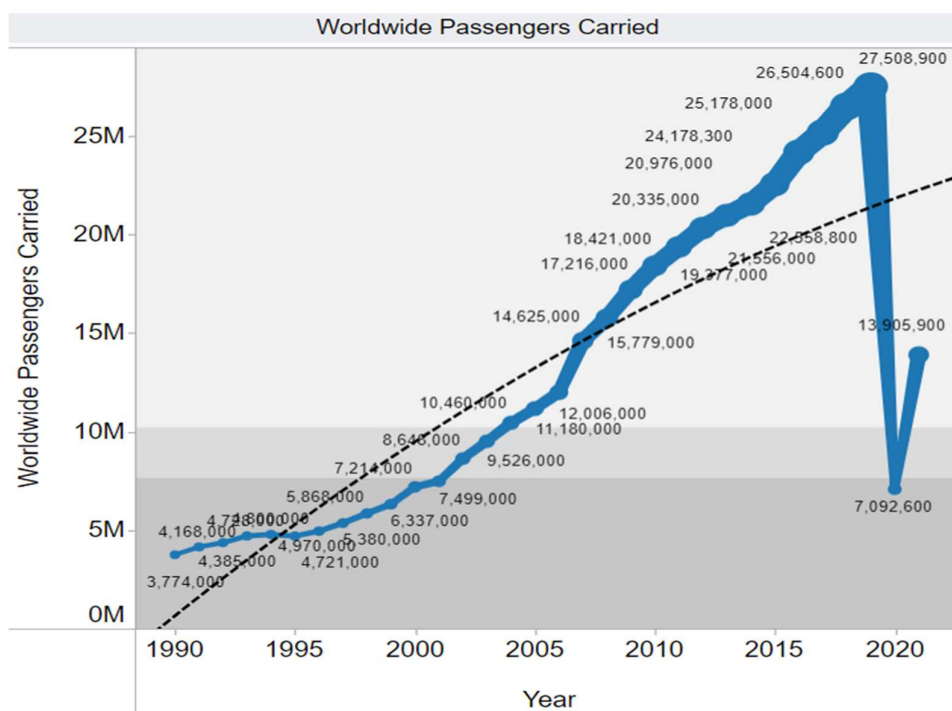
3.1. Općenito o pomorskim krstarenjima

Prvo putovanje parobroda Great Western 1838. godine iz Irske do Sjedinjenih Američkih Država označava početke pomorskih krstarenja, iako nije sasvim sigurno je li ljudima u to vrijeme glavni motiv bio odmor i razonoda ili samo putovanje do novih odredišta. S vremenom brodovi postaju sve veći i luksuzniji što potiče putovanja ljudi radi odmora. Kružna putovanja kao turistička ponuda javljaju se 70-ih godina 20. stoljeća u SAD-u, dok se na ostatak svijeta šire 90-ih godina istog stoljeća [8].

U današnje vrijeme postoji šarolika ponuda pomorskih krstarenja. Vrijeme putovanja proteže se od nekoliko dana pa do nekoliko tjedana. Najveće brodarske kompanije posjeduju brodove kapaciteta do 7 tisuća ljudi, sa širokom ponudom aktivnosti na brodu kao što su primjerice bazeni, wellness, fitness, trgovine, kino, sportski tereni, party, tečaj plesa, itd. Cijene takvih krstarenja pristupačne su širokom spektru ljudi. S druge strane postoje kompanije koje ciljaju putnike visoke platežne moći. One nude brodove manjih dimenzija, kapaciteta oko 20 putnika, luksuzno opremljene, velikih kabina, uz široku ponudu dodatnih aktivnosti.

3.2. Pomorska krstarenja u svijetu

Od 90-ih godina prošlog stoljeća industrija pomorskih krstarenja iz godine u godinu bilježila je znatan rast. Tako je s 3,7 milijuna putnika iz 1990. godine ova industrija narasla do 27,5 milijuna putnika u 2019. godini s prosječnim rastom od 6,6% godišnje. Sve se promijenilo 2020. godine kada je došlo do pojave koronavirusa te je ova industrija bila jedna od najviše pogođenih, s obzirom da je te godine samo 7 milijuna ljudi putovalo brodovima za kružna putovanja što je pad u iznosu od 20 milijuna putnika o odnosu na prethodnu godinu. Popuštanjem mjera vezanih uz koronavirus dolazi do oporavka industrije pomorskih krstarenja, tako je te godine povećan broj putnika za 96,2% i iznosio je 13,9 milijuna putnika. U razdoblju od 2019. do 2021. ukupno 31 brod poslan je u rezalište čime je smanjen kapacitet putnika za 49 105, a 2021. izgrađeno je 8 novih brodova s kapacitetom od 34 312 putnika [9]. Slika 4. prikazuje broj putnika na brodovima za krstarenje od 1990. do 2021. godine.



Slika 4. Broj putnika na brodovima za krstarenje [9]

U 2021. godini 45% putnika na pomorskim krstarenjima boravilo je u Karipskom moru što ovo područje čini najatraktivnijim za ovakav vid putovanja. Slijedi Sredozemno more s 23% udjela, Azija s 12%, Sjeverna Europa, Sjeverna Amerika s 4% te ostatak svijeta s 8% putnika [10]. Tablica 1. prikazuje udjele putnika na pomorskim krstarenjima prema destinacijama širom svijeta.

Tablica 1. Udio putnika na pomorskim krstarenjima s obzirom na destinacije

Destinacije pomorskih krstarenja	Udio putnika
Karibi, Bahami, Bermuda	45%
Središnji i zapadni Mediteran	17%
Azija i Kina	12%
Sjeverna Europa	8%
Istočni Mediteran	6%
Zapadna obala Sjeverne Amerike, Meksiko	4%
Ostatak svijeta	8%

3.3. Pomorska krstarenja u Europi

Europa se sa svojim udjelom od 25% putnika smjestila na drugo mjesto najpoželjnijih destinacija za kružna putovanja, odmah iza Sjeverne Amerike. Kružna putovanja Europom dijele se u dvije regije: Mediteran (zapadni i istočni) i Sjevernu Europu.

Brojni čimbenici čine Mediteran vrlo poželjnom turističkom destinacijom, a to su položaj između tri kontinenta (Europa, Afrika i Azija), bogata povijest i kultura, prirodne ljepote, ugodna klima, itd. Apeninski poluotok dijeli ovu regiju na dvije manje: zapadni i istočni Mediteran. Zemlje koje pripadaju zapadnom Mediteranu su Španjolska, Francuska, Italija, Tunis, Alžir i Gibraltar. Postoji širok spektar planova putovanja ovim područjem koji obuhvaćaju i ona prema Kanarskim otocima, Azorima, Madeiri te iz atlantskih i sjevernoeuropskih luka prema ovoj regiji [11]. Slika 5. prikazuje jedan od mogućih planova putovanja zapadnim Mediteranom.



Slika 5. Plan putovanja zapadnim Mediteranom [12]

Zemlje obuhvaćene istočnim Mediteranom su: Hrvatska, Grčka, Italija, Turska, Cipar, Malta, Egipat, Izrael i Libija. Planovi putovanja za ovo područje uključuju relacije istočni-zapadni Mediteran, putovanje Egejskim morem, Levantom te Jadranskim morem [11]. Slika 6. prikazuje jedan od mogućih planova putovanja istočnim Mediteranom.



Slika 6. Plan putovanja istočnim Mediteranom [12]

Sjeverna Europa obuhvaća područja britanskog otočja, Islanda, Arktika, norveških fjordova i zapadne Europe. Putnici na tim putovanjima mogu uživati u predivnim prirodnim ljepotama i pojavama, ledenjacima, gradovima, kulturi, itd. Otegotna okolnost ovog područja je hladna klima zbog koje u zimskim mjesecima nije moguće organizirati kružna putovanja. U ovoj regiji se nalaze neke od najvećih svjetskih luka kao što su Southampton, Kopenhagen, Dover, Kiel i Amsterdam [11]. Slika 7. prikazuje jedan od mogućih planova putovanja sjevernom Europom.



Slika 7. Plan putovanja sjevernom Europom [13]

3.4. Pomorska krstarenja u Hrvatskoj

Hrvatska je sa svojom obalom na Jadranskom moru dio regije istočnog Mediterana te je zbog svoje razvedene obale, prirodnih ljepota, povijesnih gradova i mnogih drugih atraktivnosti primamljiva destinacija za kružna putovanja brodom.

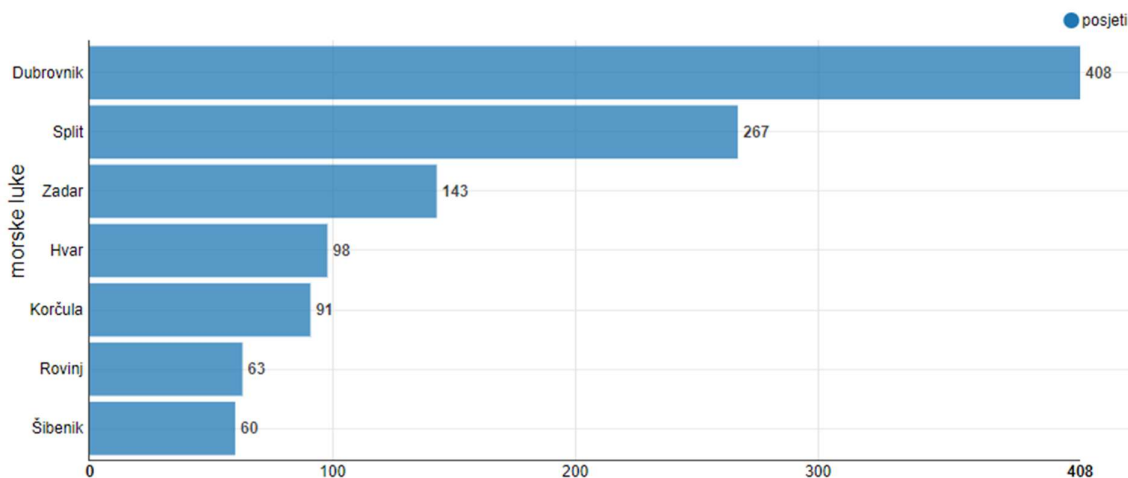
U prvih jedanaest mjeseci 2022. godine u hrvatske luke uplovila su 82 strana broda za kružna putovanja koja su ostvarila ukupno 627 kružnih putovanja, pritom je na njima bilo 625 tisuća putnika s boravkom od 1 319 dana. Broj putovanja je u 2022. porastao tri puta u odnosu na 2021. godinu u kojoj su epidemiološke mjere vezane uz bolest koronavirusa uvelike otežavale i ograničavale ovaj tip putovanja, dok je u usporedbi s 2019. godinom zabilježeno 11,7% manje putovanja, 6,7% manje dana boravaka stranih brodova te je broj putnika bio 43,6% manji, što ukazuje da se ovaj tip industrije 2022. godine još nije oporavio od posljedica epidemije [5]. Slika 8. prikazuje broj kružnih putovanja stranih brodova, dane boravka broda i broj putnika na brodu u Hrvatskoj po mjesecima u razdoblju od 2019. do 2022. godine.

	Putovanja				Dani boravka broda				Putnici na brodu			
	2019.	2020.	2021.	2022.	2019.	2020.	2021.	2022.	2019.	2020.	2021.	2022.
Ukupno	710	26	205	627	1 413	124	544	1 319	1 109 399	4 138	193 843	625 381
I.	5	5	-	1	12	12	-	1	2 702	2 809	-	485
II.	11	7	-	2	49	29	-	3	1 243	745	-	1 257
III.	18	3	-	11	71	6	-	25	19 518	183	-	4 098
IV.	49	-	-	48	97	-	-	98	82 924	-	-	34 603
V.	88	-	-	73	157	-	-	151	141 183	-	-	56 389
VI.	101	-	15	105	168	-	43	188	161 668	-	8 203	91 867
VII.	96	1	34	89	195	6	92	192	155 844	25	26 938	105 264
VIII.	98	5	36	113	180	30	102	269	167 744	221	50 783	129 638
IX.	101	5	49	77	208	41	135	174	152 539	155	51 605	82 375
X.	105	-	50	79	185	-	115	153	170 765	-	41 430	89 957
XI.	38	-	21	29	91	-	57	65	53 269	-	14 884	29 448

Slika 8. Kružna putovanja stranih brodova, dani boravka i putnici u Hrvatskoj od 2019. do 2022. [5]

Najposjećenije županije s najviše kružnih putovanja u 2022. godini bile su Dubrovačko-neretvanska (44,3%) i Splitsko-dalmatinska županija (31,9%), što je ukupno 76,2%, dok je ostatak ostvarenih putovanja zabilježen u Zadarskoj (12,6%), Istarskoj (4,8%), Primorsko-goranskoj (3,5%) te Šibensko-kninskoj županiji (2,9%). Najviše posjeta imala je luka Dubrovnik (408 posjeta), zatim luke Split (267 posjeta), Zadar (143 posjeta), Hvar (98 posjeta), Korčula (91 posjet), Rovinj (63 posjeta) te Šibenik (60 posjeta). Slika 9. prikazuje

najposjećenije morske luke u Republici Hrvatskoj u razdoblju od siječnja do studenoga 2022. godine [5].



Slika 9. Najposjećenije luke u Hrvatskoj 2022. godine

3.5. Trendovi pomorskih krstarenja

Prema izvješću Međunarodnog udruženja brodarskih tvrtki za kružna putovanja CLIA-e (eng. *Cruise Lines International Association*) očekuje se da će se broj putnika na kruzerima 2023. godine vratiti na razine iz 2019. godine, odnosno da će i premašiti postignuća iz te rekordne godine za 6%. Predviđa se da će 2023. godine industrija kružnih putovanja ugostiti oko 31,5 milijuna ljudi, dok bi se u narednih pet godina kapaciteti trebali povećati za 19% uzevši u obzir brodove koji će u tom periodu biti izgrađeni. Samim time potvrđuje se da je ova industrija jedan od najbrže rastućih sektora turizma te na vidiku nema usporevanja ni što se tiče veličine brodova, ni po pitanju broja putnika.

Veliki broj putnika zadaje probleme lukama u koje ovi brodovi pristaju te se javlja potreba za smanjenjem broja posjetitelja na nekim lokacijama. Stoga se brodovi za kružna putovanja okreću održivosti. U razdoblju od 2023. do 2028. godine 60% novogradnji koristiti će LNG gorivo kao primarni pogon, slijedeći time put dekarbonizacije, pritom će svi novi brodovi biti opremljeni za mogućnost napajanja strujom s obale. Paralelno se istražuju i mogućnosti nulte emisije korištenjem naprednih biogoriva, sintetičkih goriva, metanola, vodika, itd. Sve navedeno vodi do potrebe za većom suradnjom između kompanija koje pružaju usluge kružnih putovanja i destinacija u koje ovi brodovi pristižu, shodno tome formiraju se rasporedi dolazaka i odlazaka brodova do tri godine unaprijed [14].

4. IZBOR PROTOTIPA

Postupak osnivanja broda metodom rekonstrukcije prototipa započinje prikupljanjem podataka o sličnim brodovima, odnosno formiranja baze brodova. Nepouzdanost prikupljenih podataka ograničavajući je faktor ove metode. Stoga je bitno da baza brodova sadrži što više brodova.

Prikupljena baza brodova služi za provođenje regresijske analize glavnih izmjera broda, kojom se određuju međusobne zavisnosti pojedinih značajki broda, granice prostora mogućih projekata te se primjenjuje za kontrolu. Pri određivanju regresijskih krivulja korištena je metoda najmanjih kvadrata, što znači da je suma kvadrata odstupanja originalnih vrijednosti od vrijednosti regresijske krivulje minimalna. Stupanj zavisnosti varijable y o varijabli x izražen je koeficijentom korelacije R^2 , a jačina veze između varijabli može se stupnjevati na sljedeći način:

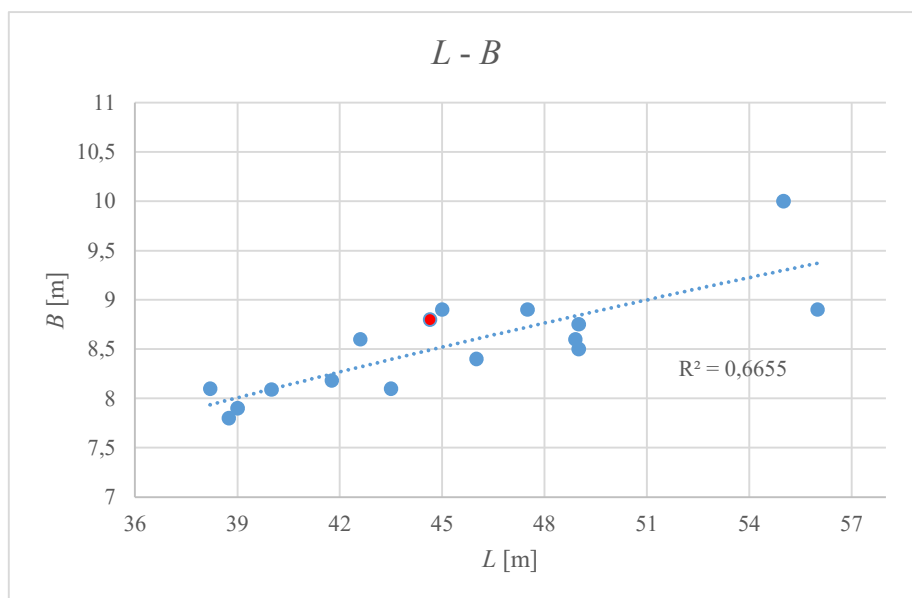
- vrlo uska veza $R^2 > 0,9$,
- uska veza $0,7 < R^2 < 0,9$,
- veza je praktične vrijednosti $0,5 < R^2 < 0,7$,
- ne postoji značajna veza $R^2 < 0,5$.

Tablicom 2. prikazana je baza brodova koja sadrži 16 brodova izgrađenih u širokom vremenskom razdoblju s rasponom duljina od 38 m do 56 m, s brojem putnika i članova posade sličnima projektnom zadatku ovog diplomskog rada. Crvenom bojom istaknut je odabrani prototip Feadship F45.

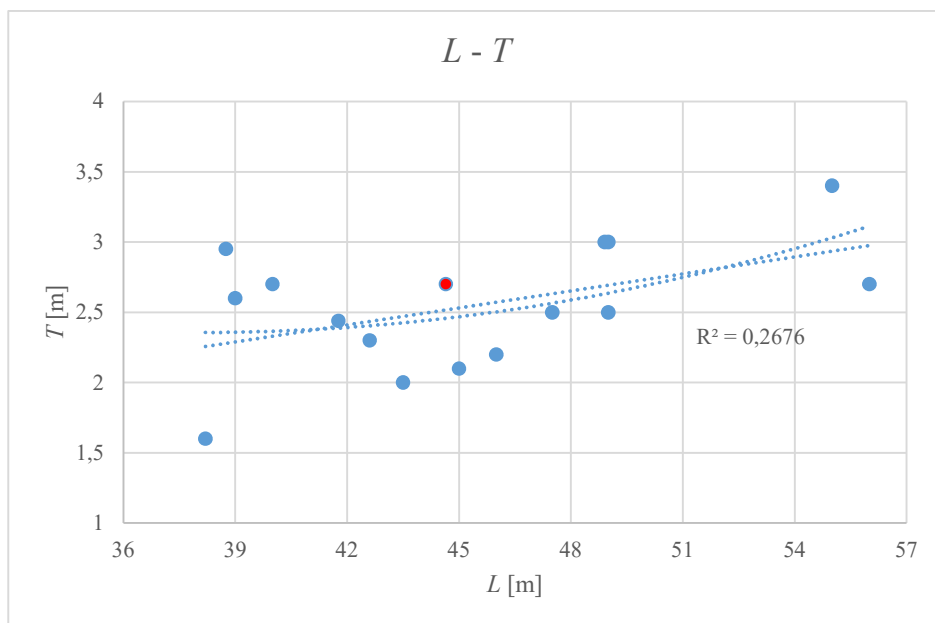
Tablica 2. Baza brodova

R.br.	Ime broda	Godina gradnje	L [m]	B [m]	T [m]	V [čv]	P_B [kW]	GT	Broj putnika	Broj kabina	Broj članova posade
1.	O'Natalina	1985./2017.	56	8,9	2,7	15,5	1760	548	12	7	11
2.	Star Ship	2004./2020.	43,5	8,1	2	13	2500	362	12	5	9
3.	Alalya	2005./2020.	47,5	8,9	2,5	15	3500	498	12	5	9
4.	Mustique	2005.	55	10	3,4	12	2460	860	12	6	13
5.	Sea Wolf	2008.	41,76	8,18	2,44	17	3400	294	12	6	8
6.	Adamaris	2010./2021.	46	8,4	2,2	16	2100	390	12	6	7
7.	Tatiana I	2011./2022.	45	8,9	2,1	14	4680	388	12	6	9
8.	Lady Trudy	2011.	42,6	8,6	2,3	12	2100	456	11	5	9
9.	Azalea	2015.	38,75	7,8	2,95	14	1140	365	18	9	12
10.	FX 38	2016.	38,2	8,1	1,6	20	3960	295	10	5	7
11.	Ottawa IV	2016.	39	7,9	2,6	11	2310	350	12	5	6
12.	Queen Eleganza	2018.	49	8,75	2,5	10	740	498	36	18	10
13.	Cristal	2018.	48,9	8,6	3	8	/	497	38	19	8
14.	Sonishi	2019.	40	8,09	2,7	12	4740	341	10	5	8
15.	Ohana	2020.	49	8,5	3	8	740	499	30	14	11
16.	Feadship F45	2007.	44,65	8,8	2,7	12	1576	499	16	20	9

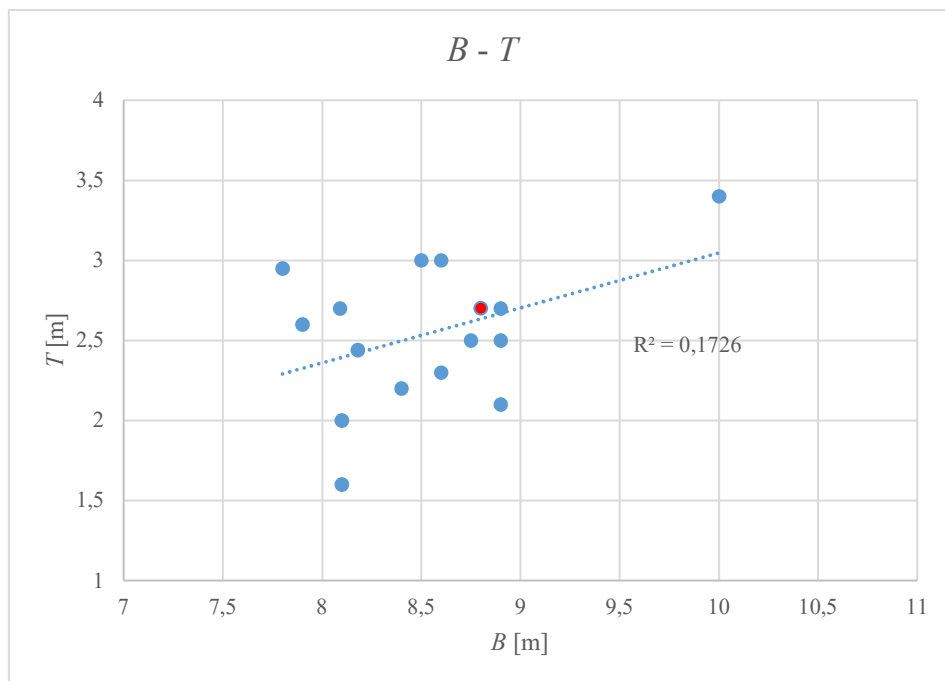
Slikama 10. – 14. prikazani su grafovi dobiveni regresijskom analizom te je vidljivo kako je iznos koeficijenta korelacije R^2 najveći za zavisnost širine o duljini broda (Slika 10.) i za zavisnost bruto tona o duljini broda (Slika 13.) gdje se javlja veza praktične vrijednosti, dok za ostale zavisnosti ne postoji značajna veza. S obzirom da ne postoji snažna veza koja pokazuje visoku razinu zavisnosti između pojedinih značajki, može se zaključiti da svaki brod odstupa od drugih s obzirom na različite projektne zahtjeve koji se postavljaju za vrijeme projektiranja.



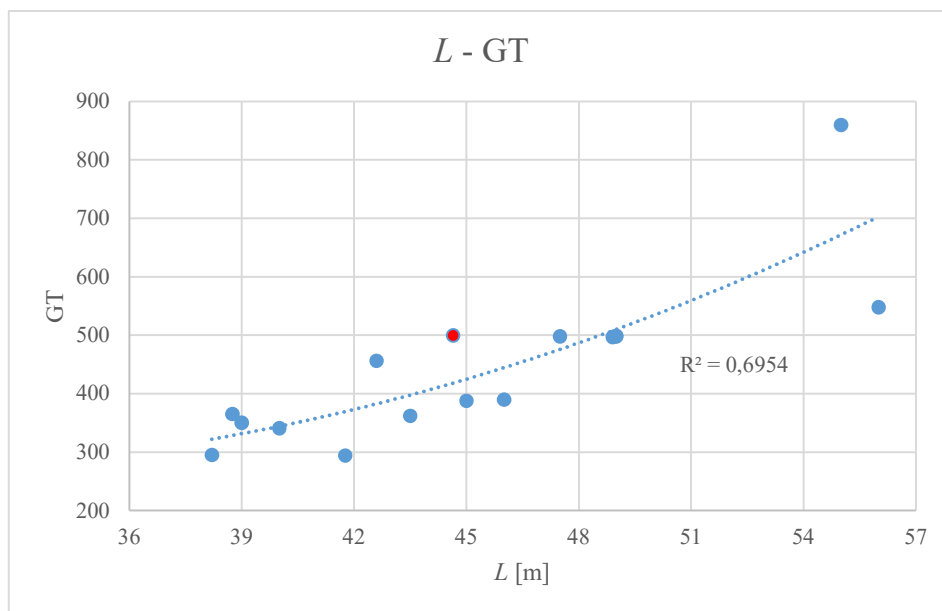
Slika 10. Zavisnost širine o duljini broda



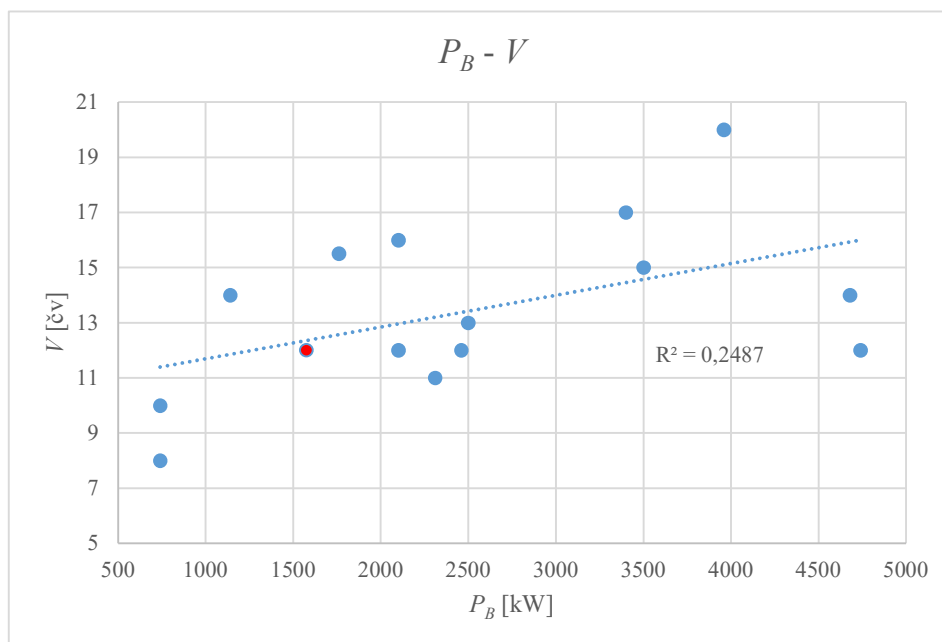
Slika 11. Zavisnost gaza o duljini broda



Slika 12. Zavisnost gaza o širini broda



Slika 13. Zavisnost bruto tona o duljini broda



Slika 14. Zavisnost brzine o snazi motora

5. ANALIZA PROTOTIPA

Za provedbu metode rekonstrukcije prototipa potrebni su brojni podaci o formi broda, stoga je Feadship F45 odabran kao prototip s obzirom da postoje dostupni podaci potrebni za izvršenje ove metode [15].

Slika 15. prikazuje brod Feadship F45.



Slika 15. Feadship F45, 44,65 m [16]

5.1. Osnovne karakteristike

Tablicom 3. dan je prikaz osnovnih karakteristika broda Feadship F45.

Tablica 3. Karakteristike broda Feadship F45 [15]

Duljina preko svega	$L_{OA} = 44,65$ m
Duljina vodne linije	$L_{WL} = 38,65$ m
Duljina između okomica	$L_{PP} = 37,15$ m
Širina	$B = 8,8$ m
Visina	$H = 4,55$ m
Gaz	$T = 2,7$ m
Masa istisnine	$\Delta = 463,3$ t
Brzina pri 85% MCR	$V = 12$ čv
Broj putnika	16
Broj članova posade	10
Glavni stroj	2 x MTU 2000 M72 12V $P_B = 1575$ kW
Koeficijent	$C_B = 0,489$
Koeficijent punoće vodne linije	$C_{WL} = 0,713$
Poprečni metacentarski radijus	$\overline{MF} = 3,131$ m

5.2. Odnos glavnih dimenzija

Jednadžbama (1) do (4) određeni su omjeri glavnih dimenzija.

Omjer duljine i širine:

$$\left(\frac{L_{OA}}{B}\right)_P = 5,074 \quad (1)$$

Omjer duljine i visine:

$$\left(\frac{L_{OA}}{H}\right)_P = 9,813 \quad (2)$$

Omjer širine i gaza:

$$\left(\frac{B}{T}\right)_p = 3,259 \quad (3)$$

Omjer gaza i visine:

$$\left(\frac{T}{H}\right)_p = 0,593 \quad (4)$$

5.3. Značajke prototipa

U nastavku su određene hidrodinamičke značajke prototipa: Froudeov broj, koeficijent vitkosti te konstanta admiraliteta. Nadalje, za već poznate podatke, koeficijent punoće, koeficijent vodne linije, vertikalni položaj težišta istisnine i poprečni metacentar, određeni su faktori korekcije u odnosu na vrijednosti tih podataka koje se određuju pomoću jednadžbi.

5.3.1. Froudeov broj

Froudeov broj je omjer sile inercije i sile gravitacije te glasi:

$$Fn_p = \frac{V \cdot 0,5144}{\sqrt{g \cdot L_{PP}}} = 0,323 \quad (5)$$

Gdje je g ubrzanje sile teže:

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

5.3.2. Koeficijent vitkosti

Koeficijent vitkost računa se kako slijedi:

$$C_M = \frac{L_{PP}}{\sqrt[3]{\frac{\Delta}{1,025}}} = 4,841 \quad (7)$$

5.3.3. Konstanta admiraliteta

Najjednostavniji i najpribližniji način za određivanje otpora broda provodi se pomoću konstante admiraliteta, čiji je iznos jednak za prototip i za projekt, a računa se kao:

$$C_{ADM} = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \cdot V^3}{0,85 \cdot P_B} = 77,283 \quad (8)$$

5.3.4. Koeficijent punoće

Koeficijent punoće prototipa iznosi:

$$C_{B,P} = 0,489 \quad (9)$$

Prema formuli Ayreja koeficijent punoće iznosi:

$$C_{B,A} = 1,06 - 0,5 \cdot \frac{v}{\sqrt{L_{PP,P}}} = 0,554 \quad (10)$$

Slijedi korekcijski faktor koeficijenta punoće:

$$f_{CB} = \frac{C_{B,P}}{C_{B,A}} = 0,883 \quad (11)$$

5.3.5. Koeficijent punoće vodne linije

Koeficijent punoće vodne linije prototipa iznosi:

$$C_{WL,P} = 0,713 \quad (12)$$

Dok prema formuli iznosi:

$$C_{WL} = 0,33 + 0,66 \cdot C_{B,P} = 0,653 \quad (13)$$

Slijedi korekcijski faktor koeficijenta punoće vodne linije:

$$f_{CWL} = \frac{C_{WL,P}}{C_{WL}} = 1,092 \quad (14)$$

5.3.6. Vertikalni položaj težišta istisnine

Vertikalni položaj težišta istisnine prototipa iznosi:

$$\overline{KB}_P = 1,66 \text{ m} \quad (15)$$

Dok prema formuli iznosi:

$$\overline{KB} = T \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{C_{B,P}}{3 \cdot C_{WL,P}} \right) = 1,633 \text{ m} \quad (16)$$

Slijedi korekcijski faktor vertikalnog položaja težišta istisnine:

$$f_{KB} = \frac{\overline{KB}_P}{\overline{KB}} = 1,017 \quad (17)$$

5.3.7. Poprečni metacentarski radijus

Poprečni metacentarski radijus prototipa iznosi:

$$\overline{MF}_P = 3,131 \text{ m} \quad (18)$$

Prema formuli Normanda poprečni metacentarski radijus se računa kao:

$$\overline{MF} = (0,096 + 0,89 \cdot C_{WL}^2) \cdot \frac{B^2}{12 \cdot C_B \cdot T} = 2,681 \text{ m} \quad (19)$$

Slijedi korekcijski faktor poprečnog metacentarskog radijusa:

$$f_{MF} = \frac{\overline{MF}_P}{\overline{MF}} = 1,168 \quad (20)$$

6. SINTEZA PROJEKTA

6.1. Određivanje preliminarnih dimenzija projekta

Projektni zadatak određuje duljinu preko svega projekta, stoga je ona ishod analize prostornosti koja je potrebna za smještaj putnika i brodskih sustava, statističkih podataka prikupljenih u bazi brodova, zahtjeva naručioca, dobre brodograđevne prakse te glavnih dimenzija odabranog prototipa. Duljinu između okomica potrebno je u prvom približenju pretpostaviti, a ostale dimenzije određuju se iz omjera glavnih dimenzija prototipa. Određene glavne dimenzije potrebno je kontrolirati i ispraviti prema zahtjevima prostornosti, stabiliteta i minimalnog nadvođa.

Preliminarno pretpostavljene duljina preko svega i duljina između okomica, prema bazi podataka i sličnom brodu:

$$L_{OA,B} = 43,5 \text{ m} \quad (21)$$

$$L_{PP,B} = 35,38 \text{ m} \quad (22)$$

Sada je moguće odrediti preostale glavne dimenzije projekta preko omjera glavnih dimenzija prototipa.

Širina projekta:

$$B_B = \frac{L_{OA,B}}{\left(\frac{L_{OA}}{B}\right)_P} = 8,573 \text{ m} \quad (23)$$

Visina projekta:

$$H_B = \frac{L_{OA,B}}{\left(\frac{L_{OA}}{H}\right)_P} = 4,433 \text{ m} \quad (24)$$

Gaz projekta:

$$T_B = H_B \cdot \left(\frac{T}{H}\right)_P = 2,630 \text{ m} \quad (25)$$

6.2. Značajke projekta

Na temelju preliminarnih dimenzija potrebno je odrediti značajke projekta koje su određene i za slučaj prototipa: Froudeov broj, koeficijent punoće, istisninu, koeficijent vitkosti, koeficijent punoće vodne linije, vertikalni položaj težišta istisnine, te poprečni metacentarski radijus.

6.2.1. Froudeov broj

Froudeov broj projekta iznosi:

$$Fn_B = \frac{V_B \cdot 0,5144}{\sqrt{g \cdot L_{PP,B}}} = 0,331 \quad (26)$$

Gdje je brzina V_B , brzina projekta, zadana projektnim zahtjevom i iznosi:

$$V_B = 12 \text{ čv} \quad (27)$$

6.2.2. Koeficijent punoće

Uz korekcijski faktor koeficijenta punoće određen u točki 5.3.4. i prema formuli Ayreja koeficijent punoće projekta iznosi:

$$C_{B,B} = f_{CB} \cdot \left(1,06 - 0,5 \cdot \frac{v}{\sqrt{L_{PP,B}}} \right) = 0,478 \quad (28)$$

6.2.3. Volumen i masa istisnine

Nakon što su određeni blok koeficijent i glavne dimenzije, moguće je odrediti volumen i masu istisnine projekta. Volumen istisnine iznosi:

$$\nabla_B = C_{B,B} \cdot L_{PP,B} \cdot B_B \cdot T_B = 381,35 \text{ m}^3 \quad (29)$$

Masa istisnine određena je množenjem volumena istisnine s gustoćom mora te iznosi:

$$\Delta_B = \rho \cdot \nabla_B = 390,88 \text{ t} \quad (30)$$

Gdje je ρ gustoća mora i iznosi:

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3 \quad (31)$$

6.2.4. Koeficijent vitkosti

Iznos koeficijenta vitkosti jednak je za prototip i za projekt, stoga je moguće odrediti duljinu između okomica projekta koja glasi:

$$L_{PP,CM} = C_M \cdot \sqrt[3]{\nabla_B} = 35,10 \text{ m} \quad (32)$$

Određena duljina između okomica vrlo je blizu pretpostavljenoj preliminarnoj vrijednosti te se usvaja pretpostavljeni iznos:

$$L_{PP,B} = 35,38 \text{ m} \quad (33)$$

6.2.5. Koeficijent punoće vodne linije

Uz korekcijski faktor koeficijenta punoće vodne linije određen u točki 5.3.5., izračunat je koeficijent punoće vodne linije projekta prema formuli:

$$C_{WL,B} = f_{CWL} \cdot (0,33 + 0,66 \cdot C_{B,B}) = 0,705 \quad (34)$$

6.2.6. Vertikalni položaj težišta istisnine

Vertikalni položaj težišta istisnine projekta, uz korištenje korekcijskog faktora izračunatog u točki 5.3.6., iznosi:

$$\overline{KB}_B = f_{KB} \cdot T_B \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{C_{B,B}}{3 \cdot C_{WL,B}} \right) = 1,624 \text{ m} \quad (35)$$

6.2.7. Poprečni metacentarski radijus

Uz korekcijski faktor izračunat u točki 5.3.7., određen je poprečni metacentarski radijus projekta:

$$\overline{MF}_B = f_{MF} \cdot \left[(0,096 + 0,89 \cdot C_{WL,B}^2) \cdot \frac{B_B^2}{12 \cdot C_{B,B} \cdot T_B} \right] = 3,064 \text{ m} \quad (36)$$

6.3. Odabir pogonskog stroja

Ukupna snaga koju pogonski motori ugrađeni na brod moraju isporučiti izračunata je pomoću konstante admiraliteta čiji je iznos jednak i za prototip i za projekt.

Zahtijevana snaga iznosi:

$$P_B = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} \cdot V_B^3}{0,85 \cdot C_{ADM}} = 1406,27 \text{ kW} \quad (37)$$

Brod će biti opremljen s dva pogonska motora, stoga svaki motor mora imati minimalnu snagu od 703,14 kW. Odabrani motor je:

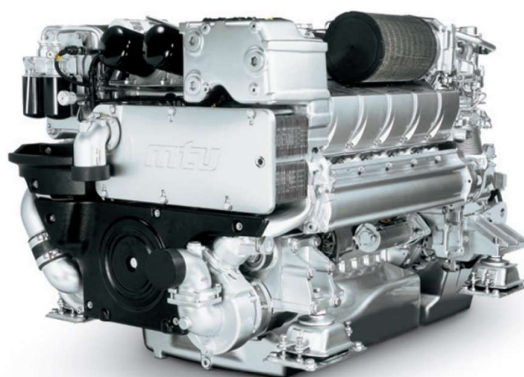
MTU 8V 2000 M72

Tablicom 4. dan je pregled karakteristika odabranog pogonskog motora [17].

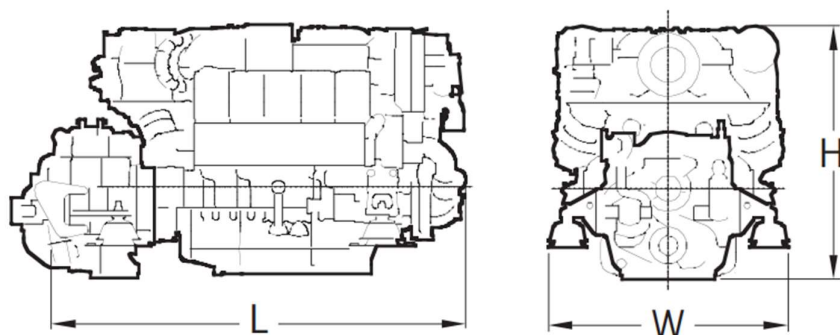
Tablica 4. Karakteristike motora MTU 8V 2000 M72

Snaga	720 kW	
Brzina vrtnje	2250 o/min	
Broj cilindara	8	
Masa motora	2410 kg	
Promjer cilindra	135 mm	
Hod klipa	156 mm	
Potrošnja goriva	185,6 l/h	
Dimenzije	<i>L</i>	1910 mm
	<i>W</i>	1130 mm
	<i>H</i>	1225 mm

Slikama 16. i 17. prikazan je motor MTU 8V 2000 M72 te njegove dimenzije.



Slika 16. Motor MTU 8V 2000 M72 [17]



Slika 17. Dimenzije motora MTU 8V 2000 M72 [17]

6.4. Uvjeti prostornosti, stabiliteta i nadvođa

U ovoj točki provedena je kontrola glavnih dimenzija projekta na temelju uvjeta prostornosti, stabiliteta i minimalnog nadvođa.

6.4.1. Uvjet prostornosti

Projektom zahtjevom potrebno je osigurati smještaj za 12 putnika u dvokrevetnim kabinama visoke klase. Sukladno tome brod je opremljen sa 6 dvokrevetnih kabina visoke klase i jednom dodatnom dvokrevetnom kabinom manje površine koja služi kao dodatni smještaj na brodu. Tablicom 5. prikazane su dimenzije putničkih kabina na brodu:

Tablica 5. Dimenzije putničkih kabina

Kabina	Broj kabina	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m ²]
Tip „A“	2	7,70	3,85	29,65
Tip „B“	2	7,70	3,20	24,64
Tip „C“	2	8,20	3,10	25,42
Tip „D“	1	3,80	3,10	11,78

Tip kabine „A“ ima najveću širinu iznosa 3,85 m. Ako se zbroje širine dviju kabina Tipa „A“ i prolaz između njih, dolazi se do minimalne širine projekta:

$$B_{B,min} = 9 \text{ m} \quad (38)$$

6.4.2. Uvjet stabiliteta

Uvjet stabiliteta definiran je formulom:

$$\overline{KB}_B + \overline{MF}_B - \overline{KG}_B - \overline{MG}_B = 0 \quad (39)$$

Gdje je \overline{KB}_B vertikalni položaj težišta istisnine (određen u točki 6.2.6.), \overline{MF}_B poprečni metacentarski radijus (određen u točki 6.2.7.), \overline{KG}_B vertikalni položaj težišta sustava te \overline{MG}_B metacentarska visina.

Međunarodna pomorska organizacija IMO (eng. *International Maritime Organization*) propisuje iznos minimalne metacentarske visine [18]:

$$\overline{MG}_{B,min} = 0,15 \text{ m} \quad (40)$$

Prema tome maksimalni položaj težišta sustava iznad osnovice pri kojem nije ugrožen stabilitet iznosi:

$$\overline{KG}_{B,max} = \overline{KB}_B + \overline{MF}_B - \overline{MG}_{B,min} = 4,538 \text{ m} \quad (41)$$

6.4.3. Uvjet minimalnog nadvođa

Međunarodna konvencija o teretnim linijama iz 1966. (eng. *International Convention on Load Lines*) propisuje iznos minimalne visine nadvođa [19]. Prema ovoj konvenciji propisano je više kriterija koji utječu na iznos minimalne visine nadvođa:

- visina nadvođa prema „Table B“ – 300 mm,
- korekcija nadvođa za brodove čiji je gaz veći od $L/15$ – 150 mm,
- odbitak visine nadgrađe zbog nadgrađa – 90 mm,
- korekcija za skok palube – 300 mm.

Kada se ove vrijednosti zbroje, minimalna visina nadvođa iznosi:

$$h_{min} = 660 \text{ mm} \quad (42)$$

6.4.4. Nove dimenzije projekta

Kontrolom uvjeta prostornosti, stabiliteta i minimalnog nadvođa uočava se kako je potrebno izmijeniti glavne dimenzije projekta koje sada iznose:

- Duljina preko svega: $L_{OA,B} = 43,5$ m,
- Duljina između okomica: $L_{PP,B} = 35,38$ m,
- Širina: $B_B = 9$ m,
- Visina: $H_B = 4,2$ m.

6.5. Određivanje mase projekta

Masu praznog opremljenog broda čine masa čelika trupa, masa nadgrađa te masa opreme i pogonskog postrojenja. Projektni zahtjev uključuje 12 putnika te doplov od 2 000 nm prema kojima će biti dimenzionirani tankovi goriva, maziva, pitke vode te kapacitet zaliha.

6.5.1. Masa trupa i nadgrađa

6.5.1.1. Masa trupa

Masa čelika trupa određuje se prema poznatim vrijednostima od prototipa:

$$m_{trup,P} = 147 \text{ t} \quad (43)$$

$$V_{trup,P} = 921,61 \text{ m}^3 \quad (44)$$

Gdje je $m_{trup,P}$ masa trupa prototipa, a $V_{trup,P}$ volumen trupa prototipa.

Volumenski koeficijent tada glasi:

$$f_{trup} = \frac{m_{trup,P}}{V_{trup,P}} = 0,160 \text{ t/m}^3 \quad (45)$$

Volumen trupa projekta iznosi, prema bazi podataka i sličnom brodu:

$$V_{trup,B} = 859,43 \text{ m}^3 \quad (46)$$

U konačnici, masa trupa projekta iznosi:

$$m_{trup,B} = f_{trup} \cdot V_{trup,B} = 137,08 \text{ t} \quad (47)$$

6.5.1.2. Masa nadgrađa

Nadgrađe obuhvaća dvije palube i kormilarnicu. Prema preliminarnoj centraciji masa nadgrađa iznosi:

$$m_{nadgrađe,B} = 75,89 \text{ t} \quad (48)$$

Uz određene mase trupa i nadgrađa, slijedi da je masa čelika projekta:

$$m_{st,B} = m_{trup,B} + m_{nadgrađe,B} = 212,97 \text{ t} \quad (49)$$

6.5.2. Masa opreme

Masa opreme određuje se prema statističkim podacima kao udio u masi praznog opremljenog broda:

$$m_{O,B} = 0,2933 \cdot m_{LS,B} \quad (50)$$

Gdje je $m_{LS,B}$ masa praznog opremljenog broda.

6.5.3. Masa pogonskog postrojenja

Masa pogonskog postrojenja određuje se također prema statističkim podacima kao udio u masi praznog opremljenog broda:

$$m_{M,B} = 0,0514 \cdot m_{LS,B} \quad (51)$$

6.5.4. Masa praznog opremljenog broda

Masa praznog opremljenog broda računa se prema formuli:

$$m_{LS,B} = m_{st,B} + m_{O,B} + m_{M,B} \quad (52)$$

Kada se uvrste prethodno izračunate komponente masa, jednadžba (52) postaje:

$$m_{LS,B} = 212,97 + 0,2933 \cdot m_{LS,B} + 0,0514 \cdot m_{LS,B} \quad (53)$$

Uz sređivanje jednadžbe (53), masa praznog opremljenog broda iznosi:

$$m_{LS,B} = 325,00 \text{ t} \quad (54)$$

Sada je moguće odrediti masu opreme i pogonskog postrojenja:

$$m_{O,B} = 0,2933 \cdot m_{LS,B} = 95,32 \text{ t} \quad (55)$$

$$m_{M,B} = 0,0514 \cdot m_{LS,B} = 16,70 \text{ t} \quad (56)$$

Tablicom 6. dan je pregled komponenti masa praznog opremljenog broda:

Tablica 6. Masa praznog opremljenog broda

Komponenta	Masa [t]
Trup i nadgrađe	212,97
Oprema	95,32
Pogonski sustav	16,70
Prazni opremljeni brod	325,00

6.5.5. Nosivost

Nosivost putničkog broda odnosi se na putnike, posadu i njihovu prtljagu, zalihe, vodu, gorivo i mazivo. Tablicom 7. dan je pregled komponenti nosivosti.

Tablica 7. Mase koje čine nosivost projekta

Komponenta	Masa [t]
Putnici, posada, zalihe	2,71
Posuđe, alat	0,70
Slatka voda	29,40
Gorivo	30,93
Mazivo	0,80
Nosivost	64,54

Sumiranjem svih komponenti, nosivost projekta iznosi:

$$DWT_B = 64,54 \text{ t} \quad (57)$$

6.5.6. Istisnina

Masa istisnine određuje se kao zbroj mase praznog opremljenog broda i nosivosti:

$$\Delta_B = m_{LS,B} + DWT_B = 389,54 \text{ t} \quad (58)$$

Pri čemu je volumen istisnine jednak:

$$\nabla_B = \rho \cdot \Delta_B = 1,025 \cdot \Delta_B = 399,28 \text{ t} \quad (59)$$

6.6. Izračun gaza i novih značajki prema novim glavnim dimenzijama

S obzirom da je izračunata nova masa istisnine, potrebno je odrediti novi gaz te vertikalni položaj težišta istisnine i poprečni metacentarski radijus.

Konačni iznos gaza određuje se nakon izrade forme i proračuna centracije.

6.6.1. Određivanje gaza

Prema glavnim dimenzijama iz točke 6.4.4. i nove istisnine iz točke 6.5.6. računa se novi iznos gaza:

$$T_B = \frac{\Delta_B}{L_{PP,B} \cdot B_B \cdot C_{B,B} \cdot \rho_{SW}} = 2,497 \text{ m} \quad (60)$$

6.6.2. Vertikalni položaj težišta istisnine

Vertikalni položaj težišta istisnine projekta sada iznosi:

$$\overline{KB}_B = f_{KB} \cdot T_B \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{C_{B,B}}{3 \cdot C_{WL,B}} \right) = 1,542 \text{ m} \quad (61)$$

6.6.3. Poprečni metacentarski radijus

Poprečni metacentarski radijus projekta s novim dimenzijama iznosi:

$$\overline{MF}_B = f_{MF} \cdot \left[(0,096 + 0,89 \cdot C_{WL,B}^2) \cdot \frac{B_B^2}{12 \cdot C_{B,B} \cdot T_B} \right] = 3,556 \text{ m} \quad (62)$$

6.6.4. Maksimalni vertikalni položaj težišta sustava

Maksimalni vertikalni položaj težišta sustava sada iznosi:

$$\overline{KG}_{B,max} = \overline{KB}_B + \overline{MF}_B - \overline{MG}_{B,min} = 4,948 \text{ m} \quad (63)$$

Gdje je metacentarska visina $\overline{MG}_{B,min} = 0,15 \text{ m}$ prema IMO-u.

6.7. Određivanje položaja težišta praznog opremljenog broda

Kako bi se odredio položaj težišta praznog opremljenog broda, potrebno je poznavati položaj težišta trupa i nadgrađa, opreme te pogonskog postrojenja. Položaj težišta trupa određen je prema sličnom brodu, dok su preostali određeni postupkom centracije.

6.7.1. Težište čelika (trupa i nadgrađa)

6.7.1.1. Težište trupa

Vertikalni položaj težišta trupa određen je prema sličnom brodu te iznosi:

$$\overline{KG}_{trup} = 2,50 \text{ m} \quad (64)$$

Uzdužni položaj težišta trupa također je određen prema sličnom brodu te iznosi:

$$\overline{XG}_{trup} = 17,12 \text{ m} \quad (65)$$

6.7.1.2. Težište nadgrađa

Nadgrađe se proteže od rebra R8 do rebra R63. Za određivanje položaja težišta nadgrađa potrebno je provesti postupak centracije koji uključuje limove, ukrepe, pregrade, stijene, krovove, koljena, upore te palube. Cijeli postupak prikazan je u Prilogu I.

Vertikalni položaj težišta nadgrađa iznosi:

$$\overline{KG}_{nadgrade} = 7,99 \text{ m} \quad (66)$$

Uzdužni položaj težišta nadgrađa iznosi:

$$\overline{XG}_{nadgrade} = 18,21 \text{ m} \quad (67)$$

6.7.2. Težište opreme

Položaj težišta opreme provodi se također postupkom centracije. Opremu je moguće podijeliti prema prostorima:

- oprema donje palube,
- oprema glavne palube,
- oprema gornje palube,
- oprema sunčane palube.

Tablica 8. prikazuje iznose zatvorenih površina na svakoj od paluba.

Tablica 8. Zatvorene površine po palubama

Paluba	Površina [m ²]
Donja paluba	145,87
Glavna paluba	234,00
Gornja paluba	158,42
Sunčana paluba	76,10
Σ	614,39

Ukupna površina zatvorenih prostora iznosi 614,39 m². Podijele li se pojedine površine po palubama s ukupnom površinom zatvorenih prostora, dobije se udio prostora svake palube u ukupnom prostoru, što je prikazano Tablicom 9.

Tablica 9. Udio površina paluba u ukupnoj zatvorenoj površini

Paluba	Površina [%]
Donja paluba	23,74
Glavna paluba	38,09
Gornja paluba	25,78
Sunčana paluba	12,39

Mase pojedinih dijelova opreme određuju se na temelju podataka vezanih uz sličan brod prema udjelu pojedine površine te prema udjelu u masi praznog opremljenog broda, što je prikazano Tablicom 10.

Tablica 10. Udio opreme i sustava u masi praznog opremljenog broda

Grupa	Udio u $m_{L,S,B}$
Stroj i oprema	0,04
Generator i oprema	0,0116
Pramčani propeler, pumpe	0,016
Kormilarski sustav	0,0103
Cjevovodi	0,0062
Sustav kaljuže	0,0011
Izmjenična struja	0,0041
Istosmjerna struja	0,0142
Klimatizacija	0,0077
Palubna oprema, vez i sl.	0,0262
Bijela tehnika	0,0071
Elektronika	0,0013
Navigacijska oprema	0,0003
Navigacijska svjetla	0,0005
Sigurnosna oprema	0,0039
Drvo-podovi	0,0409
Drvo-interijer	0,0444
Uređenje-tapete i sl.	0,0166
Obloge i pregrade	0,0312
Boje	0,0213
Rezerva	0,04

Cijeli proračun dan je u Prilogu II. dok su ovdje prikazani konačni rezultati. Vertikalni položaj težišta opreme iznosi:

$$\overline{KG}_{oprema} = 4,52 \text{ m} \quad (68)$$

Uzdužni položaj težišta opreme iznosi:

$$\overline{XG}_{oprema} = 18,08 \text{ m} \quad (69)$$

6.7.3. Težište pogonskog postrojenja

Masa pogonskog postrojenja izračunata je u točki 6.5.4. dok je položaj težišta ovog postrojenja određen prema općem planu projekta.

Prema tome vertikalni položaj težišta pogonskog postrojenja iznosi:

$$\overline{KG}_{pogon} = 1,5 \text{ m} \quad (70)$$

Uzdužni položaj težišta pogonskog postrojenja iznosi:

$$\overline{XG}_{pogon} = 10,15 \text{ m} \quad (71)$$

6.7.4. Težište praznog opremljenog broda

Nakon što su određena težišta trupa, nadgrađa, opreme i pogonskog postrojenja može se postupkom centracije odrediti položaj težišta praznog opremljenog broda, što je prikazano Tablicom 11.

Tablica 11. Centracija praznog opremljenog broda

	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Trup	137,08	17,12	2,50	2346,85	342,71
Nadgrađe	75,89	18,21	7,99	1382,24	606,32
Oprema	95,32	18,08	4,52	1723,52	431,06
Pogonsko postrojenje	16,70	10,15	1,50	169,56	25,06
Σ	325,00			5622,17	1405,13

Vertikalni položaj težišta praznog opremljenog broda prema tome iznosi:

$$\overline{KG}_{LS,B} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 4,32 \text{ m} \quad (72)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta praznog opremljenog broda:

$$\overline{XG}_{LS,B} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 17,30 \text{ m} \quad (73)$$

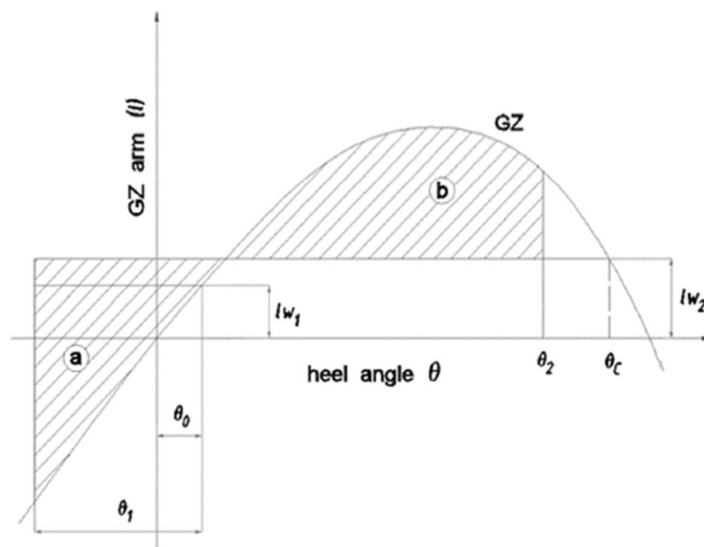
7. STABILITET

Stabilitet je sposobnost broda da se odupre nagibanju uslijed djelovanja vanjskih sila ili pomakom masa na brodu, kao i njegova sposobnost da se vrati u ravnotežni položaj nakon što uzroci nagibanja prestanu djelovati. Prilikom projektiranja broda stabilitetu se posvećuje posebna pažnja kako bi se osigurala nepotonivost broda i ljudski životi na njemu. Putnički brodovi suočavaju se s problemom stabiliteta zbog visokog nadgrađa, što se rješava korištenjem aluminija za izgradnju nadgrađa ili krcanjem balasta (krutog ili tekućeg) u trup broda.

Prema pravilima Hrvatskog registra brodova, Pravila za klasifikaciju brodova, Dio 35. Jahte, brod mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve stabiliteta [20]:

- površina ispod krivulje poluge statičkog stabiliteta ne smije biti manja od 0,055 metar-radijana do kuta nagiba 30° i ne smije biti manja od 0,09 metar-radijana do kuta nagiba 40° ili do kuta naplavljivanja ako je ovaj kut manji od 40° ,
- površina ispod krivulje poluge statičkog stabiliteta u području između kuta nagiba 30° i 40° ili između kuta nagiba 30° i kuta naplavljivanja ne smije biti manja od 0,03 metar-radijana,
- poluga statičkog stabiliteta mora iznositi najmanje 0,2 m pri kutu nagiba jednakom ili većem od 30° ,
- najveći iznos poluge statičkog stabiliteta ne bi se trebao pojaviti kod kuta nagiba manjeg od 25° ,
- vremenski kriterij.

Sve jahte moraju zadovoljiti vremenski kriterij stabiliteta koji uključuje jake valove i vjetar. Brod je izložen konstantnoj sili vjetra koja djeluje okomito na njegovu simetralnu ravninu što rezultira konstantnom polugom nagiba vjetra l_{w1} . Pretpostavlja se da se brod ljulja uslijed djelovanja valova od kuta ravnoteže θ_0 do kuta ljuljanja θ_1 u smjeru vjetra. Kut nagiba prilikom djelovanja konstantnog vjetra θ_0 ne smije premašiti 16° ili 80% iznosa kuta uranjanja palube, ovisno o tome što je manje. Brod je tada izložen naletu vjetra koji rezultira polugom nagiba vjetra l_{w2} . U ovim okolnostima površina b mora biti veća od površine a . Kut θ_2 predstavlja drugo presjecište poluge vjetra l_{w2} i krivulje GZ . Sve tražene vrijednosti prikazane su Slikom 18. preuzetom iz pravila HRB-a.



Slika 18. Vremenski kriterij stabiliteta [20]

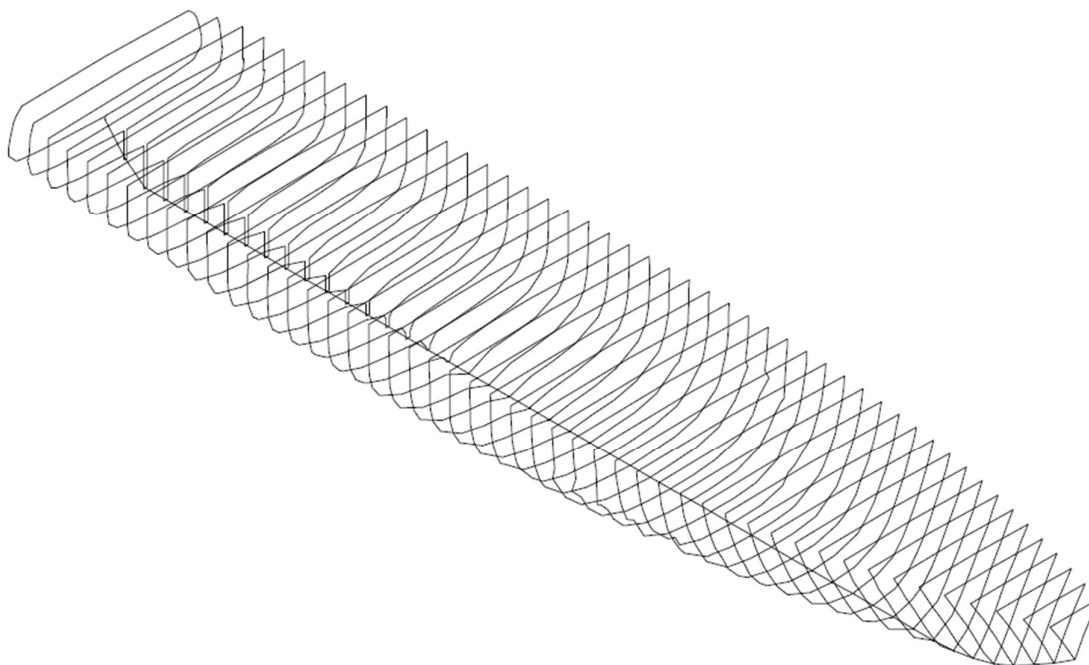
Zadovoljenost navedenih zahtjeva ispitana je pomoću programskog paketa GHS za sljedeća stanja krcanja broda [21]:

- potpuno nakrcan brod, s punim brojem putnika, prtljagom te s punim tankovima,
- potpuno nakrcan brod, s punim brojem putnika, prtljagom te s 10% zapremnine tankova.

7.1. Forma

Brodaska forma uvjetovana je brojnim zahtjevima, često protuslovnim, koje mora zadovoljiti. Neki od tih zahtjeva su: dovoljna površina paluba, dovoljni volumeni broskog prostora, ostvarenje uzgona i dovoljan stabilitet broda u neoštećenom i oštećenom stanju, mali otpor, povoljni uvjeti propulzije, dobra svojstva upravljivosti, dovoljna čvrstoća i krutost konstrukcije, estetski izgled, itd. Nije moguće zadovoljiti sve zahtjeve, stoga su razvijeni brodovi kod kojih se važnost stavlja na određena svojstva forme, dok je ostatak svojstava manje važan [22].

Za potrebe ovog rada forma je izrađena u programskom paketu GHS te je prikazana Slikom 19.



Slika 19. Forma broda

7.2. Stanje krcanja broda 1 – potpuno nakrcan brod s punim tankovima

U ovom stanju krcanja brod je u potpunosti nakrcan, što uključuje sve putnike i posadu, prtljagu i zalihe te pune tankove goriva, pitke vode, maziva i kruti balast. Cijeli izračun stabiliteta prikazan je u Prilogu IV.

Tablicom 12. prikazani su rezultati proračuna te je vidljivo kako su svi zahtjevi stabiliteta prema HRB-u zadovoljeni.

Tablica 12. Stanje krcanja broda 1

	Zahtjev	Iznos
Površina ispod krivulje poluge statičkog stabiliteta od kuta 0° do 30° (ili kuta naplavljivanja)	> 0,055 mrad	0,2147 mrad
Površina ispod krivulje poluge statičkog stabiliteta od kuta 0° do 40° (ili kuta naplavljivanja)	> 0,09 mrad	0,3145 mrad
Površina ispod krivulje poluge statičkog stabiliteta od kuta 30° do 40° (ili kuta naplavljivanja)	> 0,03 mrad	0,0998 mrad
Najveći iznos poluge statičkog stabiliteta	> 0,2 m	0,624 m
Kut kod kojeg se pojavljuje najveći iznos poluge statičkog stabiliteta	> 25°	28,64°
Minimalni iznos metacentarske visine	> 0,15 m	2,061 m

Cijeli proračun vremenskog kriterija prikazan je u Prilogu IV. dok su Tablicom 13. prikazane dobivene vrijednosti i zadovoljenost kriterija.

Tablica 13. Vremenski kriterij – stanje krcanja 1

	Zahtjev	Iznos
Poluga nagiba vjetra l_{w1}	/	0,106 m
Poluga nagiba vjetra l_{w2}	/	0,160 m
Kut ravnoteže θ_0	$< 16^\circ$	2,95°
Kut ljuljanja θ_1	/	25,06°
Kut θ_2	/	50,21°
Površina a	b > a	0,199 mrad
Površina b		0,246 mrad

7.3. Stanje krcanja broda 2 – potpuno nakrcan brod s 10% zapremnine tankova

U ovom stanju krcanja brod je nakrcan sa svim putnicima i posadom, prtljagom, krutim balastom te s 10% zapremnine tankova goriva, pitke vode i maziva.

Tablicom 14. prikazani su rezultati proračuna te je vidljivo kako su svi zahtjevi stabilneta prema HRB-u zadovoljeni.

Tablica 14. Stanje krcanja broda 2

	Zahtjev	Iznos
Površina ispod krivulje poluge statičkog stabilneta od kuta 0° do 30° (ili kuta naplavljivanja)	$> 0,055$ mrad	0,1991 mrad
Površina ispod krivulje poluge statičkog stabilneta od kuta 0° do 40° (ili kuta naplavljivanja)	$> 0,09$ mrad	0,2844 mrad
Površina ispod krivulje poluge statičkog stabilneta od kuta 30° do 40° (ili kuta naplavljivanja)	$> 0,03$ mrad	0,0853 mrad
Najveći iznos poluge statičkog stabilneta	$> 0,2$ m	0,547 m
Kut kod kojeg se pojavljuje najveći iznos poluge statičkog stabilneta	$> 25^\circ$	28,21°
Minimalni iznos metacentarske visine	$> 0,15$ m	2,077 m

Tablicom 15. prikazane su dobivene vrijednosti i zadovoljenost vremenskog kriterija.

Tablica 15. Vremenski kriterij – stanje krcanja 2

	Zahtjev	Iznos
Poluga nagiba vjetra l_{w1}	/	0,122 m
Poluga nagiba vjetra l_{w2}	/	0,182 m
Kut ravnoteže θ_0	$< 16^\circ$	$3,40^\circ$
Kuta ljuljanja θ_1	/	$23,04^\circ$
Kut θ_2	/	$47,92^\circ$
Površina a	$b > a$	0,173 mrad
Površina b		0,181 mrad

8. KONSTRUKCIJA

Proračun konstrukcijskih elemenata proveden je prema pravilima Hrvatskog registra brodova korištenjem Pravila za klasifikaciju brodova, Dio 2. Trup [23]. Sukladno pravilima, proračun uzdužne čvrstoće nije potrebno provesti jer je duljina projekta kraća od 65 m.

8.1. Sistem gradnje

Sistem gradnje je poprečni s razmakom rebara od 500 mm.

8.2. Oplata trupa

8.2.1. Opločenje dna i uzvoja

Prema pravilima (točka 5.2.1) debljina oplata dna brodova do 90 m duljine ne smije biti manja od:

$$t_1 = 1,9 \cdot n_1 \cdot s \cdot \sqrt{p_B \cdot k} + t_k = 7,03 \text{ mm} \quad (74)$$

Gdje je:

- $n_1 = 1$, za poprečno orebrenje,
- $s = 0,5$ m, razmak rebara,
- $k = 1$, koeficijent materijala,
- $t_k = 1,5$ mm, dodatak debljine za koroziju za limove tanje od 10 mm,
- $p_B = 10 \cdot d + p_0 \cdot C_F = 33,871 \text{ kN/m}^2$, opterećenje broskog dna (točka 3.2.3),
 - $d = 2,425$ m, gaz projekta,
 - $p_0 = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_W \cdot C_L \cdot f = 9,621 \text{ kN/m}^2$, osnovno vanjsko opterećenje (točka 3.1.2.2),
 - $C_B = 0,519$, koeficijent punoće,
 - $C_W = \frac{L}{25} + 4,1 = 5,678$, za brodove kraće od 90 m
 - $L = 39,44$ m, proračunska duljina projekta
 - $C_L = \sqrt{\frac{L}{90}} = 0,662$, za brodove kraće od 90 m

- $f = 1$, za vanjsku oplatu,
- $C_F = 1$, koeficijent ovisan o uzdužnom položaju.

Usvaja se debljina opločenja dna i uzvoja:

$$t_{DNO} = 7 \text{ mm} \quad (75)$$

8.2.2. Opločenje boka

Prema pravilima (točka 5.3.1) debljina oplata boka brodova do 90 m duljine ne smije biti manja od:

$$t_s = 1,9 \cdot n_1 \cdot s \cdot \sqrt{p_S \cdot k + t_k} \quad (76)$$

Gdje su n_1 , s , k i t_k već određeni u točki 9.2.1., dok je p_S opterećenje na bok broda (prema 3.2.2.1) koje se definira drugačije s obzirom na poziciju oplata u odnosu na vodnu liniju.

Za elemente kojima je središte opterećenja ispod vodne linije vrijedi:

$$p_S = 10 \cdot (d - z) + p_0 \cdot C_F \cdot \left(1 + \frac{z}{d}\right) = 24,823 \text{ kN/m}^2 \quad (77)$$

Gdje je:

- d , p_0 , i C_F već određeni u točki 9.2.1.,
- $z = 1,5 \text{ m}$, vertikalna udaljenost središta opterećenja od osnovice.

Minimalna debljina opločenja boka ispod teretne vodne linije iznosi:

$$t_{s,1} = 6,23 \text{ mm} \quad (78)$$

Za elemente kojima je središte opterećenja iznad vodne linije vrijedi:

$$p_S = p_0 \cdot C_F \cdot \frac{20}{10 + z - d} = 17,375 \text{ kN/m}^2 \quad (79)$$

Gdje je:

- $z = 3,5 \text{ m}$, vertikalna udaljenost središta opterećenja od osnovice.

Minimalna debljina opločenja boka iznad teretne vodne linije iznosi:

$$t_{s,2} = 5,46 \text{ mm} \quad (80)$$

Usvaja se debljina oploćenja boka:

$$t_{BOK,1} = 6,5 \text{ mm} \quad (81)$$

$$t_{BOK,2} = 5,5 \text{ mm} \quad (82)$$

8.2.3. Oploćenje glavne palube

Prema pravilima (točka 6.1.6) postoje dva kriterija koja određuju debljinu lima palube. Prvi od njih glasi:

$$t_{min} = (4,5 + 0,05 \cdot L) \cdot \sqrt{k} = 6,47 \text{ mm} \quad (83)$$

Gdje su:

- L i k već određeni u točki 9.2.1.

Prema drugom kriteriju debljina lima palube iznosi:

$$t_{0,1L} = 1,21 \cdot s \cdot \sqrt{p_D \cdot k} + t_k = 3,92 \text{ mm} \quad (84)$$

Gdje su:

- s , k i t_k već određeni u točki 9.2.1.
- $p_D = p_0 \cdot \frac{20 \cdot d}{(10 + z - d) \cdot D} \cdot C_a = 9,436 \text{ kN/m}^2$
 - $D = 4,2 \text{ m}$, visina projekta,
 - $z = D = 4,2 \text{ m}$, vertikalna udaljenost od osnove do središta opterećenja,
 - p_0 i d već određeni u 9.2.1,
 - $C_a = 1$,
- $p_{D,min} = 16 \cdot f = 16 \text{ kN/m}^2$,
 - $f = 1$.

Minimalnom debljinom limova glavne palube uzima se ona čiji je iznos veći:

$$t = 6,47 \text{ mm} \quad (85)$$

Usvojena debljina limova glavne palube iznosi:

$$t_{PALUBA} = 6,5 \text{ mm} \quad (86)$$

8.3. Potpalubna struktura

8.3.1. Sponje glavne palube

Prema pravilima (točka 9.2.1) minimalni moment otpora sponje glavne palube iznosi:

$$W_d = f \cdot s \cdot p \cdot l^2 \cdot k = 18,705 \text{ cm}^3 \quad (87)$$

Pritom iznos minimalne smične površine ne smije biti manji od:

$$A_d = (1 - 0,817 \cdot m_2) \cdot 0,05 \cdot s \cdot l \cdot p \cdot k = 0,621 \text{ cm}^2 \quad (88)$$

Gdje su:

- s i k već određeni u točki 9.2.1.,
- $f = 0,75$, za palubne sponje,
- $l = 1,6$ m, nepoduprti raspon sponje,
- $p = 19,484 \text{ kN/m}^2$, opterećenje na sponju,
- m_2 , faktor prema pravilima točka 8.2.2.

Opterećenje na sponju se određuje prema tri kriterija, stoga je p jednak:

- p_D već određen u točki 9.2.3.,
- $p_{DA} = p_D \cdot n = 16 \text{ kN/m}^2$,
 - $n = 1$,
- $p_L = p_C \cdot (1 + \alpha_v) = 19,484 \text{ kN/m}^2$,
 - $p_C = 7 \cdot h = 16,1 \text{ kN/m}^2$,
 - $h = 2,3$ m,
 - $\alpha_v = F \cdot m = 0,21$,
 - $F = 0,11 \cdot \frac{v}{\sqrt{L}} = 0,21$
 - $m = 1$.

Faktor m_2 određen je prema formuli:

$$m_2 = 0,204 \cdot \frac{s}{l} \cdot \left[4 - \left(\frac{s}{l} \right)^2 \right] = 0,249 \quad (89)$$

Određen je profil koji zadovoljava zahtjeve minimalnog momenta otpora te minimalne smične površine:

FB 110x10

8.3.2. Okvirne sponje

Okvirne sponje biti će postavljene na svakom četvrtom rebru. Prema pravilima HRB-a (točka 9.2.4) minimalni moment otpora okvirne sponje iznosi:

$$W = f \cdot b \cdot l^2 \cdot p \cdot k = 56,114 \text{ cm}^3 \quad (90)$$

Pritom iznos minimalne smične površine okvirne sponje ne smije biti manji od:

$$A_w = 0,05 \cdot p \cdot b \cdot l \cdot k = 2,338 \text{ cm}^2 \quad (91)$$

Gdje su:

- f, l, p i k jednaki kao u točki 9.3.1.,
- $b = 1,5$ m širina poduprtog dijela palube.

Određen je profil koji zadovoljava zahtjeve minimalnog momenta otpora te minimalne smične površine:

T 150x10/100x10

8.3.3. Podveze glavne palube

Biti će postavljeno ukupno 7 podveza na sljedećim pozicijama:

- u centralnoj liniji,
- 1500 mm od centralne linije lijevo i desno,
- 3000 mm od centralne linije lijevo i desno,
- 3694 mm od centralne linije lijevo i desno (ispod stijene nadgrađa).

Prema pravilima HRB-a (točka 9.2.4) minimalni moment otpora okvirne sponje iznosi:

$$W = f \cdot b \cdot l^2 \cdot p \cdot k = 71,019 \text{ cm}^3 \quad (92)$$

Pritom iznos minimalne smične površine okvirne sponje ne smije biti manji od:

$$A_w = 0,05 \cdot p \cdot b \cdot l \cdot k = 2,630 \text{ cm}^2 \quad (93)$$

Gdje su:

- f, p i k jednaki kao u točki 9.3.1.,
- $b = 1,5$ m, širina poduprtog dijela palube,
- $l = 1,8$ m, nepoduprti razmak podveze.

Određen je profil koji zadovoljava zahtjeve minimalnog momenta otpora te minimalne smične površine:

T 160x10/120x10

8.4. Orebrenje trupa

8.4.1. Obična rebra boka

Prema pravilima HRB-a (točka 8.1.2.1.1) minimalni moment rebra iznosi:

$$W = n \cdot c \cdot s \cdot l^2 \cdot p_s \cdot f \cdot k = 52,94 \text{ cm}^3 \quad (94)$$

Gdje su:

- s, f i k jednaki kao u točki 9.3.1.,
- p_s jednak kao u točki 9.2.2.,
- $n = 0,9 - 0,0035 \cdot L = 0,762$,
- $c = 1 - (l_{k1} + 0,45 \cdot l_{k2}) = 0,888$,
 - $l_{k1} = 0$, duljina donjeg koljena,
 - $l_{k2} = 0,25$ m, duljina gornjeg koljena,
- $l = 2,9$ m nepoduprti raspon rebra,

Određen je profil koji zadovoljava zahtjev minimalnog momenta otpora:

L 150x110x10

8.4.2. Okvirna rebra boka

Okvirna rebra postavljaju se svaka četiri razmaka rebara, kao i okvirne palubne sponje.

Prema pravilima HRB-a (točka 8.2.4) minimalni moment otpora okvirnog rebra iznosi:

$$W = 0,55 \cdot S \cdot l^2 \cdot p \cdot k = 172,226 \text{ cm}^3 \quad (95)$$

Pritom iznos minimalne smične površine okvirnog rebra ne smije biti manji od:

$$A_w = 0,05 \cdot S \cdot l \cdot p \cdot k = 5,399 \text{ cm}^2 \quad (96)$$

Gdje su:

- k i l jednaki kao u točki 9.4.1.,
- $S = 1,5$ m, razmak okvirnih rebara,
- $p = p_B$ određen u točki 9.2.2.

Profil koji zadovoljava zahtjeve minimalnog momenta otpora te minimalne smične površine:

T 250x11/150x11

8.5. Struktura dna

8.5.1. Rebrenice

Prema pravilima HRB-a (točka 7.1.1.2.1) minimalni moment rebrenice iznosi:

$$W = k_2 \cdot d \cdot s \cdot l^2 = 56,836 \text{ cm}^3 \quad (97)$$

Gdje su:

- d i s jednaki kao u točki 9.2.1.,
- $k_2 = 7,5$,
- $l = 2,5$ m, nepoduprti raspon rebrenice.

Određen je profil koji zadovoljava zahtjev minimalnog momenta otpora:

T 150x10/100x10

8.5.2. Hrptenica

Prema pravilima HRB-a (točka 7.1.2.4) debljina hrptenice ne smije biti manja od iznosa:

$$t = 0,07 \cdot L + 5,5 = 8,26 \text{ mm} \quad (98)$$

Površina poprečnog presjeka hrptenice ne smije biti manja od iznosa:

$$A_f = 0,7 \cdot L + 12 = 39,608 \text{ cm}^2 \quad (99)$$

Odabrana je hrptenica debljine:

$$t_{HRPTENICA} = 8,5 \text{ mm} \quad (100)$$

8.5.3. Uzdužni nosači

Biti će postavljena 2 uzdužna nosača na poziciji 2500 mm od centralne linije lijevo i desno.

Prema pravilima HRB-a (točka 7.1.2.5) debljina bočnog uzdužnog nosača ne smije biti manja od iznosa:

$$t = 0,04 \cdot L + 5 = 6,58 \text{ mm} \quad (101)$$

Površina poprečnog presjeka bočnog uzdužnog nosača ne smije biti manja od iznosa:

$$A_f = 0,2 \cdot L + 6 = 13,888 \text{ cm}^2 \quad (102)$$

Odabran je uzdužni nosač debljine:

$$t_{UZD.NOSAC} = 7 \text{ mm} \quad (103)$$

8.6. Nepropusne pregrade

Prema pravilima HRB-a (točka 10.1.1.1) svi brodovi moraju imati sudarnu pregradu, pregradu statvene cijevi i nepropusnu pregradu na svakom kraju strojarnice.

8.6.1. Broj nepropusnih pregrada

Prema pravilima HRB-a (točka 10.1.1.3) brodovi duljine manje od 65 m bez uzdužne pregrade moraju imati minimalno 4 nepropusne pregrade. Stoga su za projekt odabrane 4 nepropusne pregrade.

8.6.2. Sudarne pregrade

Prema pravilima HRB-a (točka 21.2.2) pramčani pik ili sudarna pregrada moraju biti nepropusni te se protezati do pregradne palube. Sudarna pregrada mora biti smještena na najmanje $0,05 \cdot L_C$, ali ne više od $0,05 \cdot L_C + 3$ m od pramčane okomice mjereno na najgornjoj vodnoj liniji. L_C je duljina broda na 85% visine broda te iznosi 38,67 m.

Za projekt palubna sudarna pregrada će se postaviti na 4 m od pramčane okomice, dok će se krmena sudarna pregrada postaviti na 2 m od krmene okomice.

8.7. Oplata nadgrađa

8.7.1. Opločenje boka

Prema pravilima HRB-a (točka 13.2.1.1) debljina oplata boka nadgrađa izračunava se prema dvije formule, te se usvaja veća vrijednost:

$$t = 1,21 \cdot s \cdot \sqrt{p \cdot k} + t_k = 4,84 \text{ mm} \quad (104)$$

$$t = 0,8 \cdot t_{min} = 5,56 \text{ mm} \quad (105)$$

Gdje su:

- $s = 0,5$ m razmak rebara,
- $k = 1$, koeficijent materijala,
- $t_k = 1,5$ mm, dodatak za koroziju,
- p opterećenje,
- $t_{min} = (1,5 - 0,01 \cdot L) \cdot \sqrt{L \cdot k} = 6,94$ mm.

Opterećenje p određuje se prema dva kriterija:

$$p_S = p_0 \cdot C_F \cdot \frac{20}{10 + z - d} = 14,831 \text{ kN/m}^2 \quad (106)$$

$$p_e = c \cdot (0,2 \cdot v + 0,6 \cdot \sqrt{L})^2 = 30,436 \text{ kN/m}^2 \quad (107)$$

Gdje su:

- p_0, C_F, d određeni u točki 9.2.1.,

- $z = 5,4$ m, vertikalna udaljenost od osnovice do središta opterećenja.
- $c = 0,8$,
- $v = 12$ čv,
- $L = 39,44$ m, proračunska duljina broda.

Usvaja se debljina opločenja boka nadgrađa:

$$t_{NAD,BOK} = 5,5 \text{ mm} \quad (108)$$

8.7.2. Opločenje palube

Prema pravilima HRB-a (točka 13.2.2.1) debljina oplata palube nadgrađa izračunava se prema dvije formule, te se usvaja veća vrijednost:

$$t = 1,21 \cdot s \cdot \sqrt{p \cdot k} + t_k = 4,17 \text{ mm} \quad (109)$$

$$t = (5,5 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{k} = 6,29 \text{ mm} \quad (110)$$

Gdje su:

- s, k, L određeni u točki 9.7.1.,
- p opterećenje.

Opterećenje p određuje se prema dva kriterija:

$$p_{DA} = p_D \cdot n = 6,955 \text{ kN/m}^2 \quad (111)$$

$$p_L = p_c \cdot (1 + \alpha_v) = 19,484 \text{ kN/m}^2 \quad (112)$$

Gdje su:

- $p_D = p_0 \cdot \frac{20 \cdot d}{(10 + z - d) \cdot D} \cdot C_a = 9,033 \text{ kN/m}^2$,
- $n = 1 - \frac{z - D}{10} = 0,77$,
 - p_0, d određeni u točki 9.2.1, a D i C_a u točki 9.2.3.,
 - $z = 6,5$ m, vertikalna udaljenost od osnovice do središta opterećenja,
- $p_c = 16,1 \text{ kN/m}^2$,
- $\alpha_v = F \cdot m = 0,21$,

- $F = 0,11 \cdot \frac{v}{\sqrt{L}} = 0,21,$
- $m = 1.$

Usvaja se debljina oploćenja palube nadgrađa:

$$t_{NAD,PAL} = 6,5 \text{ mm} \quad (113)$$

8.8. Potpalubna struktura nadgrađa

8.8.1. Palubne sponje

Palubne sponje nadgrađa jednake su onima određenima za glavnu palubu te je odabran profil:

FB 110x10

8.8.2. Podveze

Biti će postavljeno ukupno 5 podveza na sljedećim pozicijama:

- u centralnoj liniji,
- 1500 mm od centralne linije lijevo i desno,
- 3000 mm od centralne linije lijevo i desno,

Podveze nadgrađa su jednake onima određenima za glavnu palubu te je odabran profil:

T 160x10/120x10

8.9. Orebrenje nadgrađa

Prema pravilima HRB-a (točka 8.1.3.2.1) minimalni moment otpora rebra iznosi:

$$W = 0,55 \cdot s \cdot l^2 \cdot p \cdot f \cdot k = 8,503 \text{ cm}^3 \quad (114)$$

Gdje su:

- s, f i k jednaki kao u točki 9.3.1.,
- $l = 2,15$ m, nepoduprti raspon,
- p opterećenje.

Opterećenje p određeno je sljedećom formulom:

$$p = 0,4 \cdot p_L \cdot (b/l)^2 = 8,919 \text{ kN/m}^2 \quad (115)$$

Gdje su:

- p_L određen u točki 9.3.1.,
- $b = 2,3$ m, razmak između paluba.

Određen je profil koji zadovoljava zahtjev minimalnog momenta otpora:

FB 100x6

9. PROPULZIJA

Glavne značajke brodskog vijka su broj krila, promjer vijka, uspon krila, omjer površina krila, kontura krila i oblik profila presjeka krila. Na projektantu je da odredi karakteristike vijka tako da pri zadanom broju okretaja vijak apsorbira određenu snagu i proizvodi poriv potreban da se brod kreće određenom brzinom [24]. Bitno je da vijak ne proizvodi vibracije iznad dopuštenih granica kako bi boravak ljudi na brodu bio ugodan. Vibracije koje stvara vijak vezane su uz broj krila vijka te nagib osovinskog voda. Vijak može imati od dva do šest krila, gdje se za slučaj manjeg broja krila postižu lošija vibracijska svojstva.

Projekt će imati dva brodska vijka s 5 krila te jedan pramčani propulzor kako bi se osigurala dobra svojstva upravljivosti pri malim brzinama broda.

9.1. Komponente propulzije

9.1.1. Koeficijent sustrujanja

Razlika između brzine broda i brzine pritjecanja vode broskom vijku naziva se brzina sustrujanja. Ukoliko se ta brzina podijeli s brzinom broda dobije se koeficijent sustrujanja.

Koeficijent sustrujanja određen je prema formulama raznih autora, dok će se za referentnu vrijednost uzeti iznos aritmetičke sredine svih određenih.

Koeficijent sustrujanja za dvovijčane brodove prema Krugeru:

$$w_1 = 0,81 \cdot C_B - 0,34 = 0,080 \quad (116)$$

Gdje je $C_B = 0,519$ blok koeficijent.

Koeficijent sustrujanja za dvovijčane brodove prema Heckscheru:

$$w_2 = 0,7 \cdot C_P - 0,3 = 0,237 \quad (117)$$

Gdje je $C_P = 0,767$ prizmatički koeficijent.

Referentna vrijednost koeficijenta sustrujanja iznosi:

$$w = \frac{w_1 + w_2}{2} = 0,159 \quad (118)$$

9.1.2. Koeficijent upijanja

Za gibanje brzinom V potrebna je sila poriva koju stvara brodski vijak. Sila poriva je po svom iznosu veća od sile izmjerenog otpora. Ukoliko se podijeli razlika sile poriva i sile otpora sa silom poriva dobije se koeficijent upijanja.

Koeficijent upijanja određen je prema formulama raznih autora, dok će se za referentnu vrijednost uzeti iznos aritmetičke sredine svih određenih.

Koeficijent upijanja za dvovijčane brodove prema Heckscheru:

$$t_1 = 0,5 \cdot C_P - 0,18 = 0,204 \quad (119)$$

Koeficijent upijanja za dvovijčane brodove prema Danckwardtu:

$$t_2 = 0,52 \cdot C_B - 0,18 = 0,090 \quad (120)$$

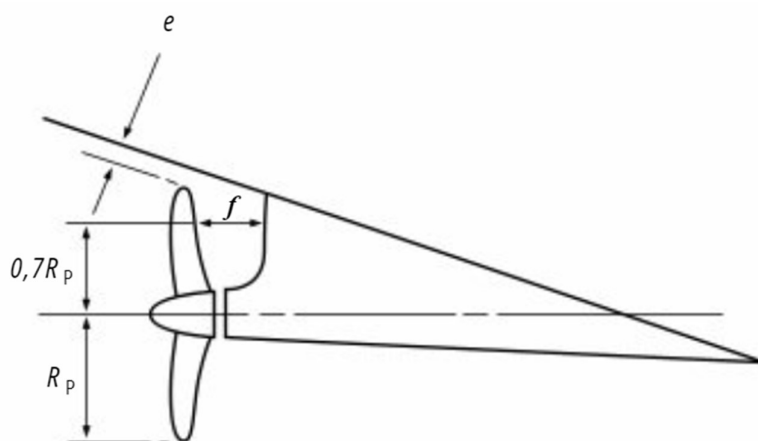
Referentna vrijednost koeficijenta sustrujanja iznosi:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = 0,147 \quad (121)$$

9.1.3. Promjer vijka i zračnosti između vijka i trupa

Maksimalni promjer vijka ograničen je formom broda te je određen prema prototipu i iznosi 1,5 m.

Za dvovijčane brodove Lloyds Register preporuča zračnosti između vijka i trupa [25], što je prikazano Slikom 20.:



Slika 20. Preporučene zračnosti između vijka i trupa [25]

Za vijak s 5 krila, zračnosti e i f određuju se prema izrazima:

$$e = 0,85 \cdot K \cdot \delta = 0,164 \text{ m} \quad (122)$$

$$f = 0,85 \cdot K \cdot \delta = 0,164 \text{ m} \quad (123)$$

Gdje su:

- $\delta = 1,5$ m promjer vijka,
- K koeficijent prema izrazu:

$$K = \left(0,1 + \frac{L_R}{3050}\right) \cdot \left(\frac{3,48 \cdot C_B \cdot P_S}{L_R^2} + 0,3\right) = 0,128 \quad (124)$$

- $L_R = 39,44$ m proračunska duljina broda,
- $C_B = 0,519$ blok koeficijent,
- $P_S = 720$ kW snaga na jednoj osovini.

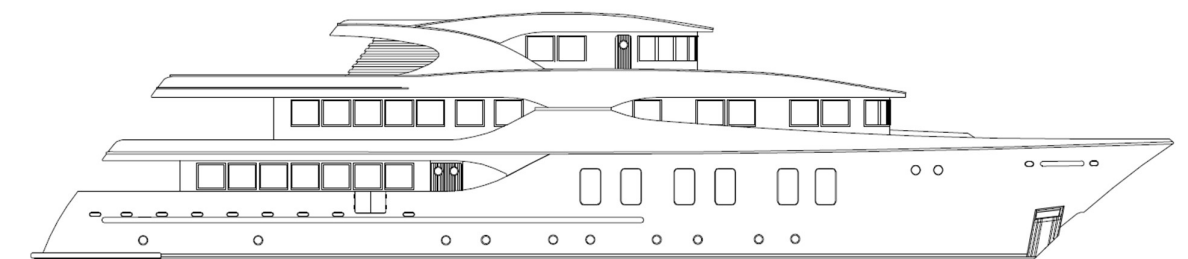
10. OPREMNI BROJ

Opremni broj određuje se prema pravilima HRB-a korištenjem Pravila za klasifikaciju brodova, Dio 3. Oprema trupa, točka 3.2.1, korištenjem formule [26]:

$$E_n = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot h + 0,1 \cdot A = 242 \quad (125)$$

Gdje su:

- $\Delta = 401,39$ t istisnina broda,
- $B = 9$ m širina broda,
- $h = 9$ m visina od ljetne vodne linije do gornjeg ruba opločenja najgornje palube,
- $A = 252,02$ m² površina izložena bočnom vjetru, prikazana Slikom 21.



Slika 21. Površina izložena bočnom vjetru

Prema određenom opremnom broju te prema Tablici 16. preuzetoj iz pravila HRB-a (točka 3.1.) odabrana je oprema vezana uz sidra, užad za vuču te užad za vez.

Tablica 16. Odabrana oprema prema opremnom broju [26]

Pramčano sidro		Lanac		Užad za vuču		Užad za vez		
Količina	Masa po sidru	Duljina	Promjer karike	Duljina	Minimalna vlačna čvrstoća	Količina	Duljina svakog užeta	Minimalna vlačna čvrstoća
kom	kg	m	mm	m	kN	kom	m	kN
2	780	330	22	180	150	4	120	75

11. TEHNIČKI OPIS

11.1. Namjena i opis broda

Brod je izveden kao jednotrupni s nadgrađem, projektiran za kružna putovanja Mediteranom s 12 putnika smještenih u dvokrevetnim kabinama visoke klase uz 9 članova posade.

Ima četiri palube: donju, glavnu, gornju te sunčanu palubu. Na donjoj palubi nalazi se odvojeni prostor za 6 članova posade s tri dvokrevetne kabine te prostori za zabavu i opuštanje putnika kao što su kino, soba za društvene igre, dječja igraonica i sauna. Na glavnoj palubi nalazi se blagovaonica za 12 putnika s kuhinjom, teretana te četiri dvokrevetne sobe za osam putnika. Na gornjoj palubi nalazi se dnevni boravak, dvije dvokrevetne sobe za četiri putnika te jedna dodatna dvokrevetna soba za goste na brodu. Na sunčanoj palubi smještena je kormilarnica te tri jednokrevetne sobe za kapetana, časnika stroja i časnika palube.

11.2. Nosivost

Ukupna nosivost na maksimalnom gazu iznosi oko 65 tona što uključuje putnike, teret, zalihe goriva, maziva, pitke vode i namirnica, masu trupa, strojeva i opreme, inventar, rezervne dijelove te tekućine neophodne za normalan rad strojeva i uređaja.

11.3. Kapaciteti

Smještajni kapacitet broda uključuje kabine za 12 putnika te 9 članova posade.

Predviđeni su tankovi kapaciteta:

- gorivo 34,76 m³,
- pitka voda 29,40 m³,
- tank fekalija 4 m³,
- tank zauljenih voda 2 m³.

11.4. Brzina i radijus plovidbe

Brod je projektiran za prosječnu brzinu od 12 čv, koju postiže pomoću dva motora ukupne snage od 1440 kW. Doplov broda projektiran je na 2000 Nm čime se osigurao tank goriva dovoljne zapremnine goriva za takvu duljinu putovanja.

11.5. Stabilitet i trim

Stabilitet broda zadovoljava sve zahtjeve koje propisuje HRB. Nema pojave pretjeranog trima za niti jedan od slučajeva krcanja.

11.6. Klasa

Konstrukcija broda određena je prema pravilima HRB-a za područje plovidbe 2. Materijal gradnje trupa i nadgrađa je čelik.

11.7. Oprema

Projekt će biti opremljen sljedećom opremom:

- oprema za manevriranje:
 - dva kormila s pripadnom opremom,
 - pramčani propulzor,
- oprema za navigaciju i signalizaciju:
 - radar,
 - magnetski kompas,
 - GPS i dubinomjer,
 - VHF oprema,
 - navigacijska i signalna svjetla,
- oprema za sidrenje i vez:
 - sidra s lancima,
 - sidreno vitlo,
 - užad za vez i tegalj,
 - bitve,
- oprema za spašavanje i prvu pomoć:
 - samonapuhujuća splav,
 - koluti i prsluci za spašavanje,
 - pirotehnička sredstva,

- oprema za prvu pomoć i lijekovi,
- protupožarna oprema:
 - aparati za gašenje požara,
 - senzori za detekciju dima,
- ventilacija,
- sanitarni sustavi:
 - sustav slatke vode,
 - sustav sanitarnih izljeva,
- pogonski i pomoćni strojevi:
 - glavni strojevi,
 - diesel električni agregati,
- sustavi glavnog pogonskog stroja:
 - sustav goriva,
 - sustav za podmazivanje,
 - rashladni sustav,
- namještaj i interijer.

12. PREGLED BODSKIH PROSTORA

12.1. Kabine

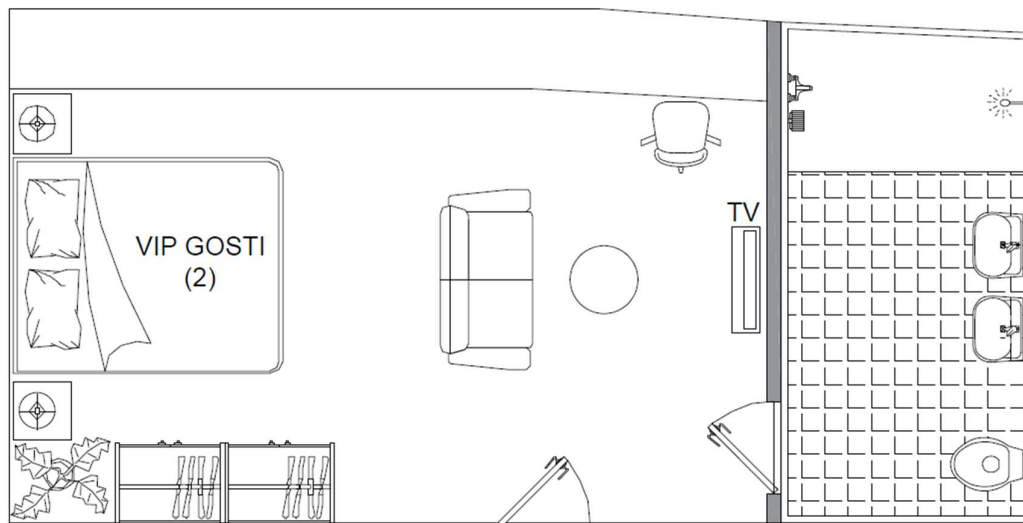
12.1.1. Putničke kabine

12.1.1.1. Tip „A“

Dvije kabine tipa „A“, pojedinačne površine 29,65 m², nalaze se na glavnoj palubi. U svakoj od njih predviđen je smještaj dvaju putnika te su opremljene s:

- krevet,
- dva noćna ormarića,
- dva ormara,
- kauč,
- stolić,
- TV,
- radna stolica,
- uzdužna polica uz bočnu stijenu,
- kupaonica.

Slika 22. prikazuje kabinu tipa „A“.



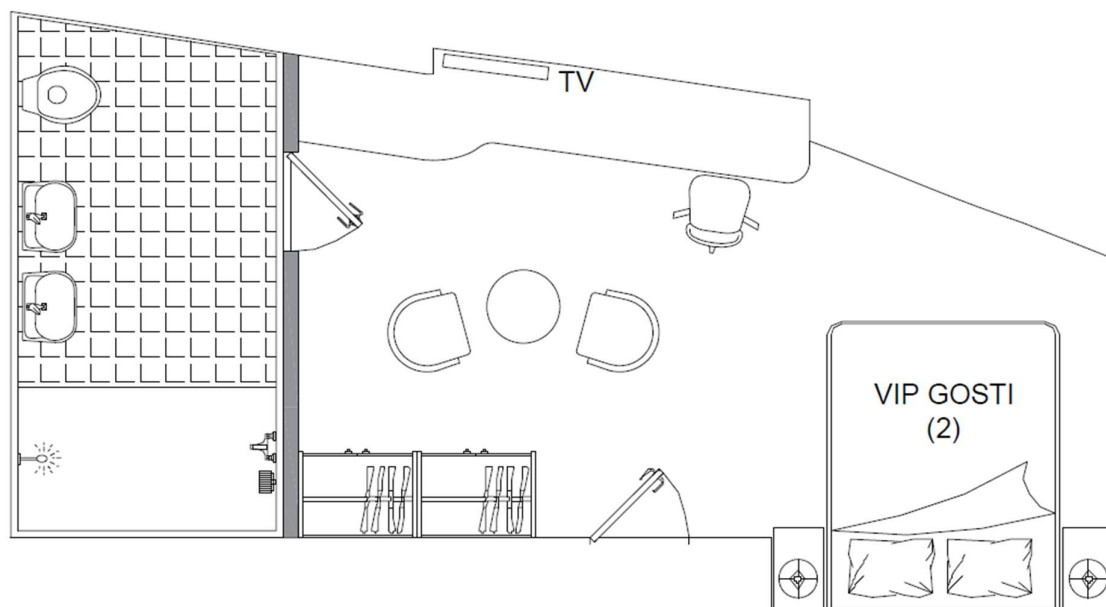
Slika 22. Putnička kabina-Tip „A“

12.1.1.2. Tip „B“

Dvije kabine tipa „B“, pojedinačne površine 24,64 m², nalaze se na glavnoj palubi. U svakoj od njih predviđen je smještaj dvaju putnika te su opremljene s:

- krevet,
- dva noćna ormarića,
- dva ormara,
- dvije stolice,
- stolić,
- TV,
- radna stolica,
- uzdužna polica uz bočnu stijenu,
- kupaonica.

Slika 23. prikazuje kabinu tipa „B“.



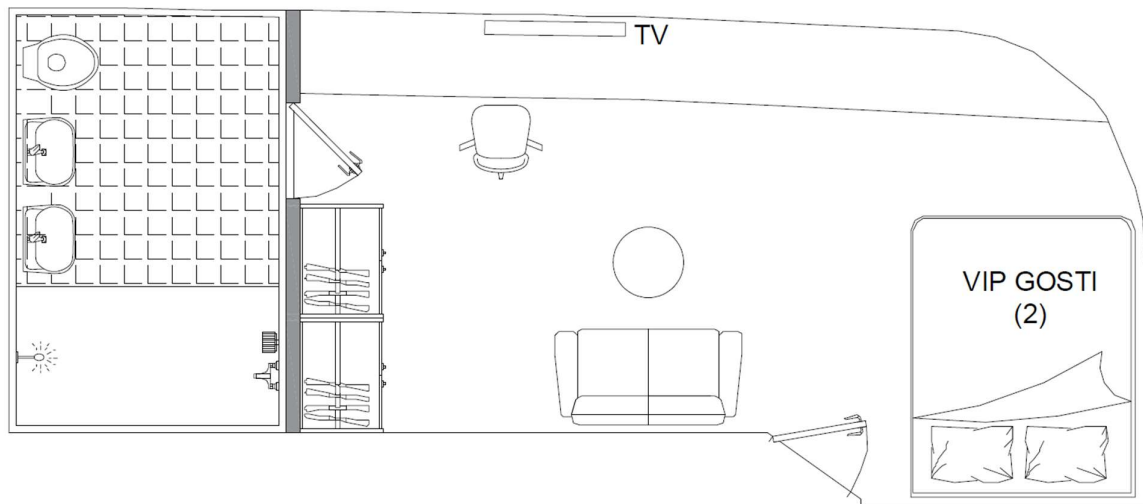
Slika 23. Putnička kabina-Tip „B“

12.1.1.3. Tip „C“

Dvije kabine tipa „C“, pojedinačne površine 25,42 m², nalaze se na gornjoj palubi. U svakoj od njih predviđen je smještaj dvaju putnika te su opremljene s:

- krevet,
- dva ormara,
- kauč,
- stolić,
- TV,
- radna stolica,
- uzdužna polica uz bočnu stijenu,
- kupaonica.

Slika 24. prikazuje kabinu tipa „C“.



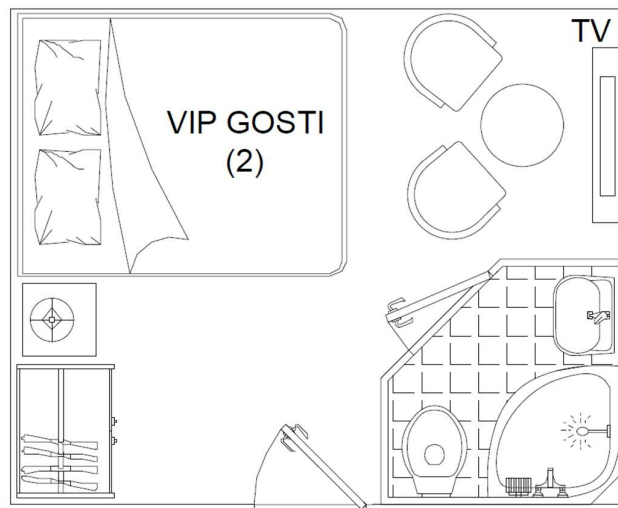
Slika 24. Putnička kabina-Tip „C“

12.1.1.4. Tip „D“

Kabina tipa „D“, površine 11,78 m², nalazi se na gornjoj palubi. Predviđena je za kao dodatni smještaj za dva gosta na brodu, te je opremljena s:

- krevet,
- noćni ormarić,
- ormar,
- dvije stolice,
- stolić,
- TV,
- kupaonica.

Slika 25. prikazuje kabinu tipa „D“.



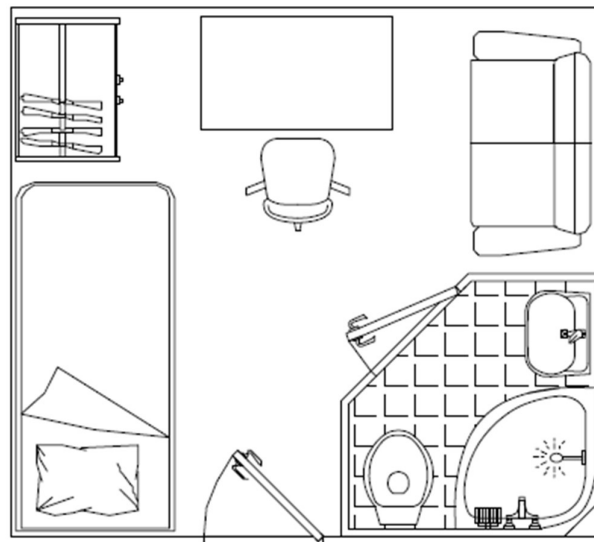
Slika 25. Putnička kabina-Tip „D“

12.1.2. Kabine za posadu

Na sunčanoj palubi smještene su tri jednokrevetne sobe, pojedinačne površine 10,4 m², za kapetana, časnika stroja i časnika palube. Opremljene su s:

- krevet,
- ormar,
- kauč,
- radni stol i stolica,
- kupaonica.

Slika 26. prikazuje kabinu za kapetana, časnika stroja i časnika palube.

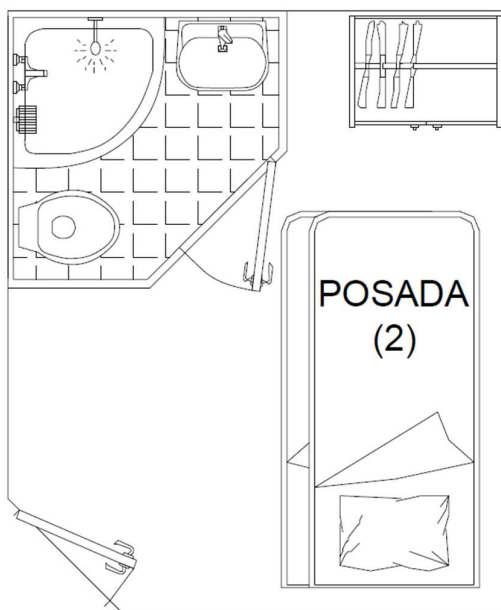


Slika 26. Kabina za kapetana, časnika stroja i časnika palube

Tri dvokrevetne kabine za ostatak posade, pojedinačne površine 8,5 m², smještene su na donjoj palubi. Opremljene su s:

- krevet na kat,
- ormar,
- kupaonica.

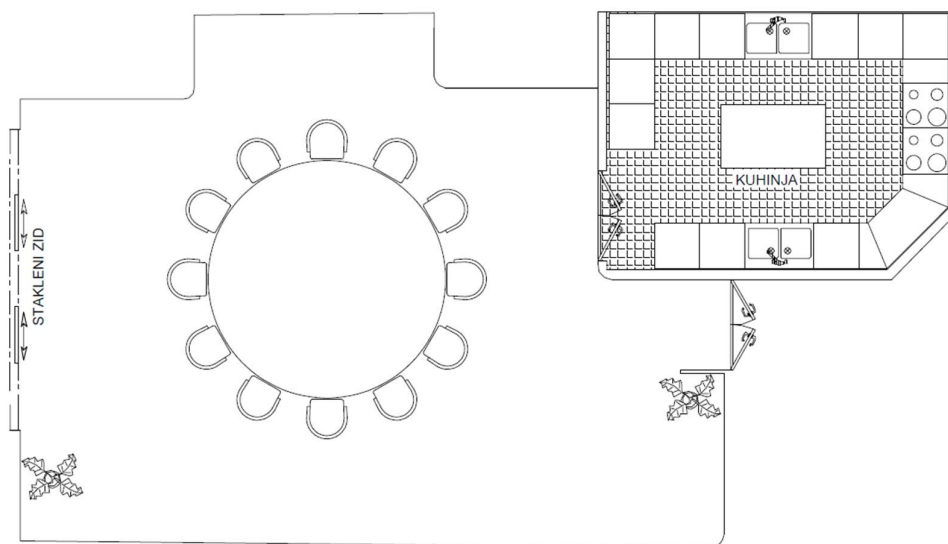
Slika 27. prikazuje jednu od tri kabine u kojima je smješten ostatak posade.



Slika 27. Kabina za ostatak posade

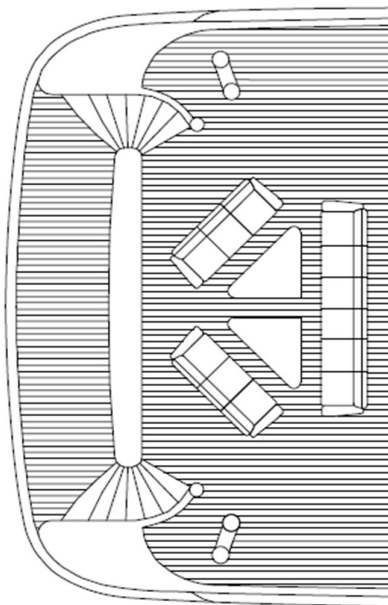
12.2. Zajednički prostori

Na glavnoj palubi smještena je blagovaonica s pripadnom kuhinjom. Opremljena je velikim kružnim stolom s dvanaest stolica za sve putnike, što je prikazano Slikom 28.



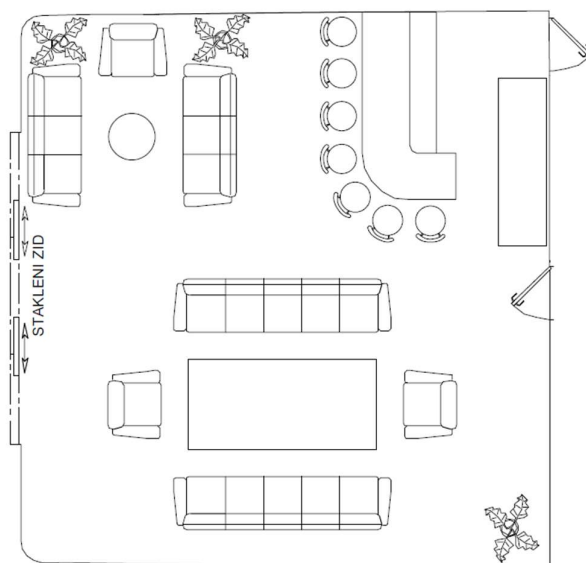
Slika 28. Blagovaonica

Na vanjskom prostoru glavne palube smještena je terasa s 12 sjedećih mjesta, prikazana Slikom 29.



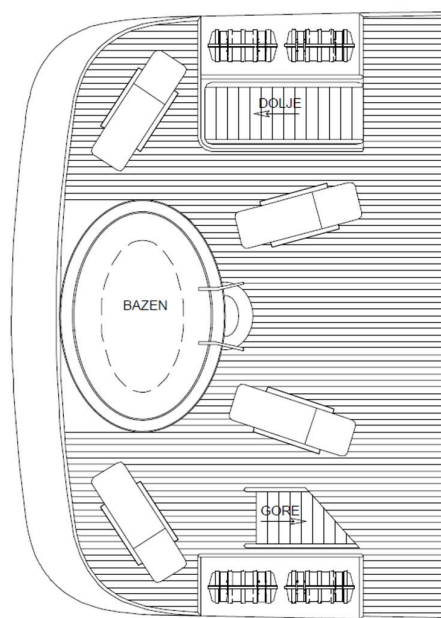
Slika 29. Terasa na glavnoj palubi

Na gornjoj palubi nalazi se dnevni boravak. Prostor nudi mogućnost zajedničkog druženja svih 12 putnika ili druženje u manjim grupama. Opremljen je s kaučima, foteljama, šankom te barskim stolicama kao što je prikazano Slikom 30.



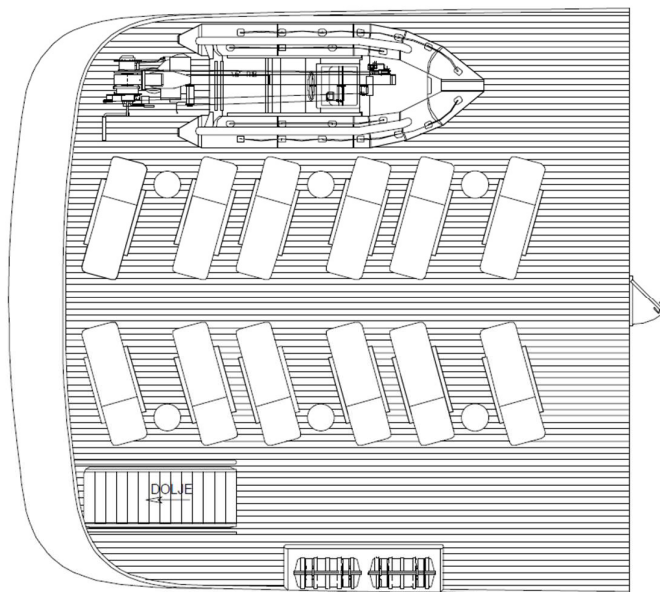
Slika 30. Dnevni boravak

Na vanjskom prostoru gornje palube nalazi se bazen s četiri ležaljke prema Slici 31.



Slika 31. Terasa na gornjoj palubi

Na vanjskom prostoru sunčane palube smještena je terasa s ležaljka za 12 putnika. Na istoj terasi se nalazi i čamac s dizalicom. Pomoću tog čamca putnici odlaze na lokacije do kojih nije moguće doći brodom. Slikom 32. prikazana je terasa na sunčanoj palubi.



Slika 32. Terasa na sunčanoj palubi

Na donjoj palubi smješteni su prostori za zabavu i opuštanje:

- kino,
- sobe za društvene igre,
- dječja igraonica,
- sauna.

13. TROŠKOVI IZGRADNJE

Preliminarna procjena troškova izgradnje broda uključuje cijenu čelika trupa i nadgrađa, cijenu opreme, trošak izrade projekta, trošak odobrenja dokumentacije i nadzora gradnje broda od HRB-a, trošak rada opremanja broda, troškove registracije, osiguranja i administracije, rezervu te zaradu brodogradilišta. Cijena čelika određena je prema jediničnoj cijeni u iznosu od 6 €/kg, dok je cijena opreme sa strojarnicom određena prema jediničnoj cijeni od 40 €/kg, te je njihov iznos prikazan Tablicom 17.

Tablica 17. Cijena čelika i opreme

	Masa [t]	Jedinična cijena [€/t]	Cijena [€]
Čelik	212,97	6	1 277 280
Oprema sa strojarnicom	112,02	40	4 480 800
Ukupno	324,99		5 758 620

Ostali troškovi izraženi su postotkom u odnosu na ukupnu cijenu čelika i opreme te su prikazani Tablicom 18.

Tablica 18. Ostali troškovi

	Postotak [%]	Cijena [€]
Projekt broda	7	403 103
Odobrenje dokumentacije i nadzor gradnje broda od HRB-a	3	172 758
Rad opremanja broda	20	1 151 724
Registracija, osiguranje, administracija	10	575 862
Rezerva	10	575 862
Zarada brodogradilišta	5	287 931
Ukupno	55	3 167 861

Ukupni troškovi određeni su zbrojem cijene čelika i opreme te ostalih troškova te iznose:

$$\text{UKUPNI TROŠKOVI} = 8\,925\,861 \text{ €} \quad (126)$$

14. ZAKLJUČAK

U ovom radu proveden je postupak osnivanja putničkog broda za plovidbu Mediteranom. Postupak osnivanja broda započeo je zadovoljavanjem projektnih zahtjeva, a to su: 12 putnika koji su smješteni u dvokrevetnim kabinama visoke klase, 9 članova posade, brzina krstarenja 12 čv, doplov 2000 nm te ograničenje od maksimalno 500 bruto tona. Postupak osnivanja proveden je pomoću metode rekonstrukcije prototipa za koju je formirana baza od 16 brodova. Provedena je regresijska analiza brodskih značajki te je utvrđeno kako za ovu bazu brodova ne postoji snažna veza između pojedinih značajki, što se pripisuje različitim projektnim zahtjevima koji se postavljaju za vrijeme projektiranja. Iz baze brodova odabran je prototip te je provedena analiza njegovih značajki, a prema tim značajkama provedena je sinteza značajki projekta. Dobivene dimenzije projekta provjerene su pomoću uvjeta prostornosti, stabiliteta i nadvođa, nakon čega su usvojene konačne dimenzije projekta. Masa praznog opremljenog broda i njegovo težište određeni su centracijom masa trupa, nadgrađa, opreme te pogonskog postrojenja. Stabilitet projekta određen je pomoću programskog paketa GHS u kojem je izrađena forma te se pokazalo kako su zadovoljeni svi zahtjevi stabiliteta koje propisuje Hrvatski registar brodova. Konstrukcija broda određena je upotrebom pravila Hrvatskog registra brodova. Određene su debljine oplata trupa i nadgrađa te orebrenje i potpalubna struktura trupa i nadgrađa. Oprema, brodski vijak i glavni stroj određeni su prema zahtjevima HRB-a i sličnim brodovima. Izrađen je kratki tehnički opis u kojem su navedeni: namjena i opis broda, nosivost, kapaciteti, brzina i radijus plovidbe, stabilitet i trim, klasa te popis opreme. Smještaj putnika moguć je u 3 tipa kabina koje se razlikuju u opremi i površini. Na brodu se nalazi i jedna dodatna dvokrevetna kabina za slučaj dodatnih gostiju na brodu. Šest članova posade smješteno je u tri dvokrevetne kabine, dok su kapetan, časnik palube i časnik stroja smješteni u jednokrevetnim kabinama. Na brodu su osigurani i zajednički prostori za sve putnike, a to su: blagovaonica, dnevni boravak, vanjska terasa s bazenom, vanjska terasa za sunčanje, teretana, kino, sobe za društvene igre, dječja igraonica te sauna. Troškovi izgradnje broda procijenjeni su na 8 925 861 €.

LITERATURA

- [1] Gugić, D., Slapničar, V.: *Osnivanje broda*, Predavanja, Zagreb, 2001.
- [2] SOLAS 2018: *Consolidated Edition*,
<https://www.samgongustofa.is/media/english/SOLAS-Consolidated-Edition-2018.docx.pdf>
- [3] Hrvatska enciklopedija mrežno izdanje: *Putnički brod*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51175#top>.
- [4] Hrvatska enciklopedija mrežno izdanje: *Trajekt*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=61990>.
- [5] Državni zavod za statistiku: *Kružna putovanja stranih brodova u Republici Hrvatskoj u razdoblju od siječnja do studenoga 2022.*, <https://podaci.dzs.hr/2022/hr/29524>.
- [6] SuperYacht Times: *Flying Fox Yacht*, <https://www.superyachttimes.com/yachts/flying-fox-136m>.
- [7] Ship Technology, *Wonder of the Seas Cruise Ship*, <https://www.ship-technology.com/projects/wonder-of-the-seas-cruise-ship/>.
- [8] Tokalić, I.: *Kružna putovanja - krstarenja*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, 2016.
- [9] Cruise Market Watch: *Growth of the Ocean Cruise Line Industry*, <https://cruisemarketwatch.com/growth/>.
- [10] Passport-photo.online: *Cruise Industry: 100+ Statistics, Facts, and Trends*, <https://passport-photo.online/blog/cruise-industry-statistics/#gref>.
- [11] Benić, I.: *Analiza najpoznatijih krizing destinacija u svijetu*, Ekonomska misao i praksa, Dubrovnik, Broj 2, 2009.
- [12] Azurtours: *Krstarenja Mediteranom*,
<https://www.azurtours.hr/putovanja/krstarenja/krstarenja-mediteranom/>.
- [13] Viking Cruises, Scandinavia Cruises & Northern Europe Cruises,
<https://www.vikingcruises.com/oceans/cruise-destinations/scandinavia-northern-europe/index.html>.
- [14] Cruise Lines International Association: *State of the cruise industry 2023*,
https://cruising.org/-/media/cli-media/research/2023/2023-clia-state-of-the-cruise-industry-report_low-res.ashx.
- [15] Grabić, I.: *Projekt putničkog broda*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 2007.

- [16] Superyachts.com: Feadship F45 Vantage superyacht, <https://www.superyachts.com/news/story/new-feadship-f45-vantage-superyacht-for-sale-with-merle-wood-and-edmiston-509/>.
- [17] mtu Solutions: *Marine diesel engines 8V/10V 2000 M72*, https://www.mtu-solutions.com/content/dam/mtu/products/defense/marine-and-offshore-service-and-supply/main-propulsion/mtu-series-2000/3231471_Marine_spec_8V10V2000M72_1B.pdf/_jcr_content/renditions/original/_/3231471_Marine_spec_8V10V2000M72_1B.pdf.
- [18] IMO rules: *Intact Stability Code*, <https://www.imorules.com/GUID-E451298C-6D7E-4FBD-8E47-0B07FCC6F784.html>.
- [19] International Convention on Load Lines, 1966.
- [20] Hrvatski registar brodova: *Pravila za klasifikaciju brodova, Dio 35. Jahte*, Split, 2020.
- [21] GHS – General Hydrostatics, Creative Systems Inc., User' s Manual, ver. 18.00
- [22] Hrvatska tehnička enciklopedija: *Brod, Predočivanje brodske forme*, https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/brod_1_predocivanje_brodske_forme.pdf.
- [23] Hrvatski registar brodova: *Pravila za klasifikaciju brodova, Dio 2. Trup*, Split, 2020.
- [24] Hrvatska tehnička enciklopedija: *Brod, otpor - Brod, propulzija*, https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/brod_7_propulzija_broda.pdf.
- [25] Lloyds Register: *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft, Part 3*.
- [26] Hrvatski registar brodova: *Pravila za klasifikaciju brodova, Dio 3. Oprema trupa*, Split, 2020.

PRILOZI

- I. Centracija nadgrađa
- II. Centracija opreme
- III. Dijagram mase praznog opremljenog broda
- IV. Izvještaj iz GHS-a
- V. Tehnička dokumentacija

Prilog I.
Centracija nadgrađa

Postupak centracije nadgrađa podijeljen je na centraciju manjih jedinica: glavna paluba, gornja paluba, sunčana paluba, puna ograda i linica te zakrivljeni krovovi.

1. Centracija glavne palube

Tablicom 1. prikazan je postupak centracije glavne palube.

Tablica 1. Centracija glavne palube

Element	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Bočna stijena	2,41	12,35	5,45	29,76	13,13
Bočna stijena	2,41	12,35	5,45	29,76	13,13
Gornja paluba	17,62	17,85	6,08	314,52	107,13
Stijena 2 490 mm od CL-blagovaonica	0,31	5,23	5,45	1,62	1,69
Pregrada 6 400 mm od AP-blagovaonica	0,13	6,40	5,45	0,83	0,71
Pregrada 9 750 mm od AP-blagovaonica	1,00	9,75	5,45	9,75	5,45
Pregrada 11 840 mm od AP-blagovaonica	0,22	11,84	5,45	2,60	1,20
Stijena kuhinje CL	0,66	14,24	5,45	9,40	3,60
Zadnja stijena kuhinje 16 500 mm od AP	0,49	16,50	5,45	8,09	2,67
Pregrada 13 500 mm od AP-blagovaonica	0,32	13,50	5,45	4,32	1,74
Pregrada 18 500 mm od AP	1,04	18,50	5,45	19,24	5,67
Pregrada 24 300 mm od AP	1,00	24,30	5,45	24,30	5,45
Pregrada 26 300 mm od AP	0,94	26,30	5,45	24,72	5,12
Pregrada 28 300 mm od AP	0,88	28,30	5,45	24,90	4,80
Upore	0,13	10,00	5,45	1,30	0,71
Koljena	0,13	17,98	5,44	2,34	0,71
Σ	29,69			507,46	172,91

Vertikalni položaj težišta glavne palube iznosi:

$$\overline{KG}_{GLP,N} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 5,82 \text{ m} \quad (1)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta glavne palube:

$$\overline{XG}_{GLP,N} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 17,09 \text{ m} \quad (2)$$

2. Centracija gornje palube

Tablicom 2. prikazan je postupak centracije gornje palube.

Tablica 2. Centracija gornje palube

Element	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Bočna stijena	2,29	17,97	7,86	41,10	17,98
Bočna stijena	2,29	17,97	7,86	41,10	17,98
Prednja stijena 29 700 mm od AP	0,81	29,78	7,90	24,04	6,38
Zadnja stijena 7 500 mm od AP	0,42	7,50	7,90	3,13	3,30
Pregrada 14 500 mm od AP	0,70	14,50	7,90	10,21	5,56
Pregrada 18 500 mm od AP	0,76	18,50	7,90	14,04	6,00
Pregrada 22 400 mm od AP	0,76	22,40	7,90	17,00	6,00
Pregrada 24 500 mm od AP	0,75	24,50	7,90	18,35	5,92
Sunčana paluba	15,26	19,02	9,07	290,17	138,37
Koljena	0,13	19,01	9,07	2,47	1,18
Σ	24,16			461,63	208,66

Vertikalni položaj težišta gornje palube iznosi:

$$\overline{KG}_{GRP,N} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 8,64 \text{ m} \quad (3)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta gornje palube:

$$\overline{XG}_{GRP,N} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 19,11 \text{ m} \quad (4)$$

3. Centracija sunčane palube

Tablicom 3. prikazan je postupak centracije sunčane palube.

Tablica 3. Centracija sunčane palube

Element	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Krov kormilarnice	8,85	15,81	10,29	139,95	91,08
Zadnja stijena kormilarnice	0,85	13,00	10,30	11,03	8,74
Bočna stijena kormilarnice	2,30	17,22	10,29	39,66	23,70
Prednja stijena kormilarnice	0,77	23,60	10,30	18,20	7,94
Pregrada 18 500 mm od AP	0,41	18,50	10,30	7,56	4,21
Pregrada 20 500 mm od AP	0,85	20,50	10,30	17,44	8,76
Koljena	0,08	15,81	10,20	1,19	0,77
Upore	0,06	12,00	10,30	0,72	0,62
Σ	14,17			235,74	145,82

Vertikalni položaj težišta sunčane palube iznosi:

$$\overline{KG}_{SP,N} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 10,29 \text{ m} \quad (5)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta sunčane palube:

$$\overline{XG}_{SP,N} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 16,64 \text{ m} \quad (6)$$

4. Centracija pune ograde i linice

Tablicom 4. prikazan je postupak centracije pune ograde i linice.

Tablica 4. Centracija pune ograde i linice

Element	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Gornja paluba i linica	3,10	21,70	7,70	67,27	23,87
Sunčana paluba 1	0,90	22,50	9,25	20,25	8,33
Sunčana paluba 2	0,52	14,90	10,50	7,75	5,46
Kormilarnica 1	0,47	17,90	11,50	8,45	5,43
Kormilarnica 2	0,80	11,70	11,67	9,36	9,34
Σ	5,79			113,08	52,42

Vertikalni položaj težišta pune ograde i linice iznosi:

$$\overline{KG}_{WL,N} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 9,05 \text{ m} \quad (7)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta pune ograde i linice:

$$\overline{XG}_{WL,N} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 19,52 \text{ m} \quad (8)$$

5. Centracija zakrivljenih krovova

Tablicom 5. prikazan je postupak centracije zakrivljenih krovova.

Tablica 5. Centracija zakrivljenih krovova

Element	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Zakrivljeni krov gornje palube	2,13	27,60	9,30	58,65	19,76
Zakrivljeni krov kormilarnice	1,91	21,60	11,70	41,26	22,35
Σ	4,04			99,91	42,11

Vertikalni položaj težišta zakrivljenih krovova iznosi:

$$\overline{KG}_{ZK,N} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 10,44 \text{ m} \quad (9)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta zakrivljenih krovova:

$$\overline{XG}_{ZK,N} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 24,76 \text{ m} \quad (10)$$

6. Centracija nadgrađa

Nakon što su određena težišta manjih jedinica moguće je odrediti težište nadgrađa, što je prikazano Tablicom 6.

Tablica 6. Centracija nadgrađa

Jedinica	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Glavna paluba	29,69	17,09	5,82	507,46	172,91
Gornja paluba	24,16	19,11	8,64	461,63	208,66
Sunčana paluba	14,17	16,64	10,29	235,74	145,82
Puna ograda i linica	5,79	19,52	9,05	113,08	52,42
Zakrivljeni krovovi	4,04	24,76	10,44	99,91	42,11
Σ	77,84			1417,81	621,92

Vertikalni položaj težišta nadgrađa iznosi:

$$\overline{KG}_N = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 10,44 \text{ m} \quad (11)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta nadgrađa:

$$\overline{XG}_N = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 24,76 \text{ m} \quad (12)$$

Prilog II.
Centracija opreme

Postupak centracije opreme proveden je po palubama te je u konačnici određen vertikalni i uzdužni položaj težišta opreme. Za svaku palubu je određena oprema koja se na njoj nalazi, te je masa pojedine komponente određena prema udjelu površine pojedine palube te prema podacima iz baze podataka i sličnog broda o udjelima svake komponente u masi lakog opremljenog broda.

1. Centracija opreme donje palube

Tablicom 1. prikazan je postupak centracije opreme donje palube.

Tablica 1. Centracija opreme donje palube

Oprema	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Stroj i oprema	13,00	9,95	1,50	129,35	19,50
Generator i oprema	3,77	8,45	1,90	31,86	7,16
Pramčani propeler, pumpe	5,20	31,34	1,25	162,97	6,50
Kormilarski sustav	3,35	0,50	2,50	1,67	8,37
Cjevovodi	0,48	16,20	1,40	7,75	0,67
Sustav kaljuže	0,36	12,10	1,10	4,33	0,39
Izmjenična struja	0,32	15,20	3,90	4,81	1,23
Istosmjerna struja	1,10	15,20	3,90	16,65	4,27
Klimatizacija	0,59	15,20	3,90	9,03	2,32
Palubna oprema, vez i sl.	8,51	35,43	4,20	301,69	35,76
Bijela tehnika	0,55	27,90	2,00	15,29	1,10
Elektronika	0,10	16,00	2,20	1,60	0,22
Sigurnosna oprema	0,30	15,20	2,40	4,57	0,72
Drvo-podovi	3,16	15,80	1,80	49,86	5,68
Drvo-interijer	3,43	15,80	2,30	54,13	7,88
Uređenje-tapete i sl.	1,28	15,20	1,80	19,47	2,31
Obloge i pregrade	2,41	15,00	3,05	36,11	7,34
Boje	1,64	16,20	2,10	26,63	3,45
Σ	49,54			877,77	114,88

Vertikalni položaj težišta opreme donje palube iznosi:

$$\overline{KG}_{O,DP} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 2,32 \text{ m} \quad (1)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta opreme donje palube:

$$\overline{XG}_{O,DP} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 17,72 \text{ m} \quad (2)$$

2. Centracija opreme glavne palube

Tablicom 2. prikazan je postupak centracije opreme glavne palube.

Tablica 2. Centracija opreme glavne palube

Oprema	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Cjevovodi	0,77	19,10	6,55	14,66	5,03
Izmjenična struja	0,51	19,00	6,55	9,64	3,32
Istosmjerna struja	1,76	19,00	6,55	33,40	11,51
Klimatizacija	0,95	19,00	6,50	18,11	6,20
Bijela tehnika	0,88	14,20	4,50	12,48	3,95
Elektronika	0,16	18,90	4,60	3,04	0,74
Sigurnosna oprema	0,48	19,05	4,90	9,20	2,37
Drvo-podovi	5,06	19,10	4,20	96,70	21,26
Drvo-interijer	5,50	19,00	5,45	104,42	29,95
Uređenje-tapete i sl.	2,05	19,10	4,20	39,25	8,63
Obloge i pregrade	3,86	18,50	5,35	71,45	20,66
Boje	2,64	18,50	5,40	48,78	14,24
Σ	24,62			461,11	127,86

Vertikalni položaj težišta opreme glavne palube iznosi:

$$\overline{KG}_{GLP,O} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 5,19 \text{ m} \quad (3)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta opreme glavne palube:

$$\overline{XG}_{GLP,O} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 18,73 \text{ m} \quad (4)$$

3. Centracija opreme gornje palube

Tablicom 3. prikazan je postupak centracije opreme gornje palube.

Tablica 3. Centracija opreme gornje palube

Oprema	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Cjevovodi	0,52	19,20	8,95	9,98	4,65
Izmjenična struja	0,34	19,15	9,00	6,58	3,09
Istosmjerna struja	1,19	19,15	9,00	22,79	10,71
Klimatizacija	0,65	19,15	8,95	12,36	5,78
Bijela tehnika	0,59	13,50	7,00	8,03	4,16
Elektronika	0,11	20,10	7,90	2,19	0,86
Sigurnosna oprema	0,33	20,40	7,40	6,67	2,42
Drvo-podovi	3,43	19,20	6,70	65,81	22,96
Drvo-interijer	3,72	19,15	7,40	71,25	27,53
Uređenje-tapete i sl.	1,39	19,20	6,70	26,71	9,32
Obloge i pregrade	2,61	19,20	7,30	50,20	19,09
Boje	1,78	19,00	7,20	33,91	12,85
Σ	16,67			316,47	123,43

Vertikalni položaj težišta opreme gornje palube iznosi:

$$\overline{KG}_{GRP,O} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 7,41 \text{ m} \quad (5)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta opreme gornje palube:

$$\overline{XG}_{GRP,O} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 18,99 \text{ m} \quad (6)$$

4. Centracija opreme sunčane palube

Tablicom 4. prikazan je postupak centracije opreme sunčane palube.

Tablica 4. Centracija opreme sunčane palube

Oprema	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Cjevovodi	0,250	17,05	11,15	4,255	2,783
Izmjenična struja	0,165	17,05	11,20	2,814	1,849
Istosmjerna struja	0,572	17,05	11,20	9,746	6,402
Klimatizacija	0,310	17,05	11,15	5,285	3,456
Bijela tehnika	0,286	19,30	9,40	5,516	2,687
Elektronika	0,052	16,50	10,30	0,863	0,539
Navigacijska oprema	0,097	13,15	14,10	1,282	1,375
Navigacijska svijetla	0,162	13,20	14,50	2,145	2,356
Sigurnosna oprema	0,157	16,50	9,80	2,590	1,539
Drvo-podovi	1,646	16,50	9,10	27,166	14,983
Drvo-interijer	1,787	16,50	9,75	29,491	17,427
Uređenje-tapete i sl.	0,668	16,50	9,10	11,026	6,081
Obloge i pregrade	1,256	16,00	9,70	20,095	12,183
Boje	0,857	16,40	9,65	14,062	8,274
Σ	8,27			136,34	81,93

Vertikalni položaj težišta opreme sunčane palube:

$$\overline{KG}_{SP,O} = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 9,91 \text{ m} \quad (7)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta opreme sunčane palube:

$$\overline{XG}_{SP,O} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 16,49 \text{ m} \quad (8)$$

5. Centracija opreme

Nakon što su određena težišta opreme po palubama moguće je odrediti težište opreme, što je prikazano Tablicom 5.

Tablica 5. Centracija opreme

Paluba	m_i [t]	x_i [m]	z_i [m]	$m_i \cdot x_i$	$m_i \cdot z_i$
Donja paluba	49,54	17,72	2,32	877,77	114,88
Glavna paluba	24,62	18,73	5,19	461,11	127,86
Gornja paluba	16,67	18,99	7,41	316,47	123,43
Sunčana paluba	8,27	16,49	9,91	136,34	81,93
Σ	99,09			1791,69	448,10

Vertikalni položaj težišta opreme iznosi:

$$\overline{KG}_O = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i} = 4,52 \text{ m} \quad (9)$$

Dok je iznos položaja uzdužnog težišta opreme:

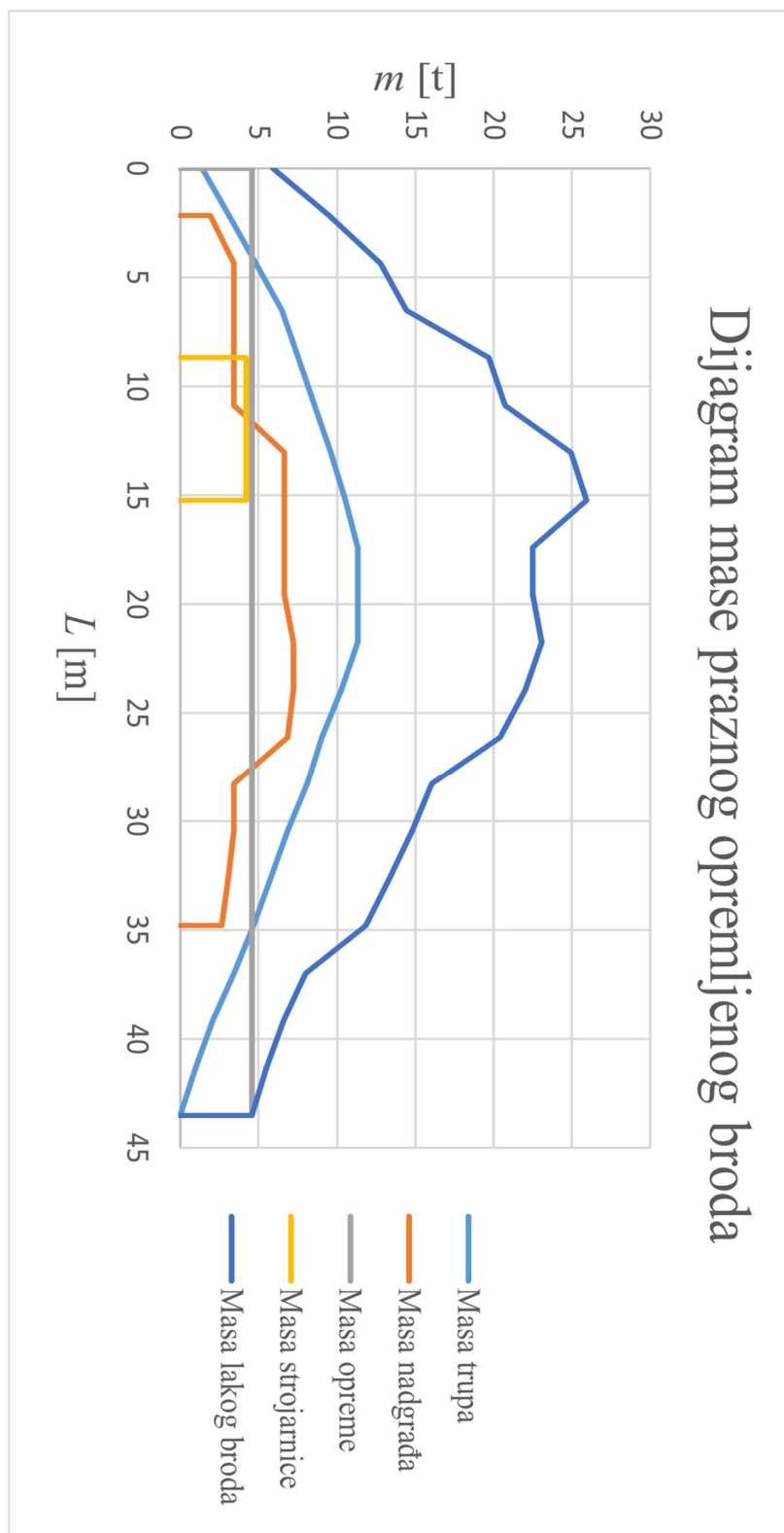
$$\overline{XG}_O = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} = 18,08 \text{ m} \quad (10)$$

Prilog III.

Dijagram mase praznog opremljenog broda

Masa praznog opremljenog broda uključuje masu čelika trupa i nadgrađa, masu opreme te masu pogonskog postrojenja (strojarnice). Za izradu dijagrama raspodjele mase po duljini, brod je podijeljen na 20 jednakih područja duljine 2,175 m. Masa čelika trupa prati formu broda, tako je udio mase najveći u području glavnog rebra, dok opada prema pikovima. Masa čelika nadgrađa je najveća u području gdje su prisutne dvije palube (gornja i sunčana), a manja je u područjima gdje se nalazi samo gornja paluba. Masa opreme podijeljena je jednako po cijeloj duljini broda, dok je masa strojarnice podijeljena jednako u području gdje je ona smještena na brodu.

Dijagram 1. prikazuje raspodjelu pojedinih masa te raspodjelu mase praznog opremljenog broda po duljini.



Dijagram 1. Raspodjela mase praznog opremljenog broda po duljini

Prilog IV.
Rezultati iz GHS-a

1. Stanje krcanja 1

LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

WEIGHT and DISPLACEMENT and CRITICAL POINT STATUS
 Baseline draft: 2.425 @ Origin
 Trim: Aft 0.569/35.380, Heel: zero

Part-----	Weight (MT)-----	LCG-----	TCG-----	VCG-----	FSM-----	
FIXED WEIGHT	325.00	19.200f	0.000	4.320		
	Load-----SpGr-----	Weight (MT)-----	LCG-----	TCG-----	VCG-----	FSM-----
TT1.C	1.000 8.000	39.19	24.041f	0.000	0.678	0.00
TM1.C	0.980 0.900	0.57	14.440f	0.000	0.626	0.07
TPV1.P	1.000 1.000	11.19	20.047f	1.677p	0.792	0.00
TPV2.S	1.000 1.000	11.19	20.047f	1.677s	0.792	0.00
TG1.P	0.980 0.960	7.16	16.255f	1.614p	0.872	11.76
TG2.S	0.980 0.960	7.16	16.255f	1.614s	0.872	11.76
Total Tanks----->		76.46	21.341f	0.000	0.747	23.59
Total Weight----->		401.46	19.608f	0.000	3.640	
		Displ (MT)-----	LCB-----	TCB-----	VCB-----	
HULL	1.025	401.43	19.571f	0.000	1.357	
Righting Arms:			0.000	0.000		
Distances in METERS.			-----Moments in m.-MT.			
Critical Points-----			LCP-----	TCP-----	VCP-----	Height
(1) AirPipe DB 2 SB		TIGHT	23.304f	4.500s	4.200	2.149
(2) AirPipe DB 2 PS		TIGHT	23.304f	4.500p	4.200	2.149
Distances in METERS.			-----			

HYDROSTATIC PROPERTIES
 Trim: Aft 0.569/35.380, No Heel

Origin	Displacement	Center of Buoyancy						
Depth---	Weight (MT)---	LCB-----	TCB-----	VCB-----	WPA-----	LCF-----	BML-----	BMT
2.424	401.43	19.571f	0.000	1.357	306.0	17.741f	87.71	4.343
Distances in METERS.		-----Specific Gravity = 1.025.---True Free Surface included.						

RIGHTING ARMS vs HEEL ANGLE

Total CG: LCG = 19.608f TCG = 0.000 VCG = 3.640
 Free Surface Adjustment: 0.059
 Adjusted CG: LCG = 19.609f TCG = 0.000 VCG = 3.698

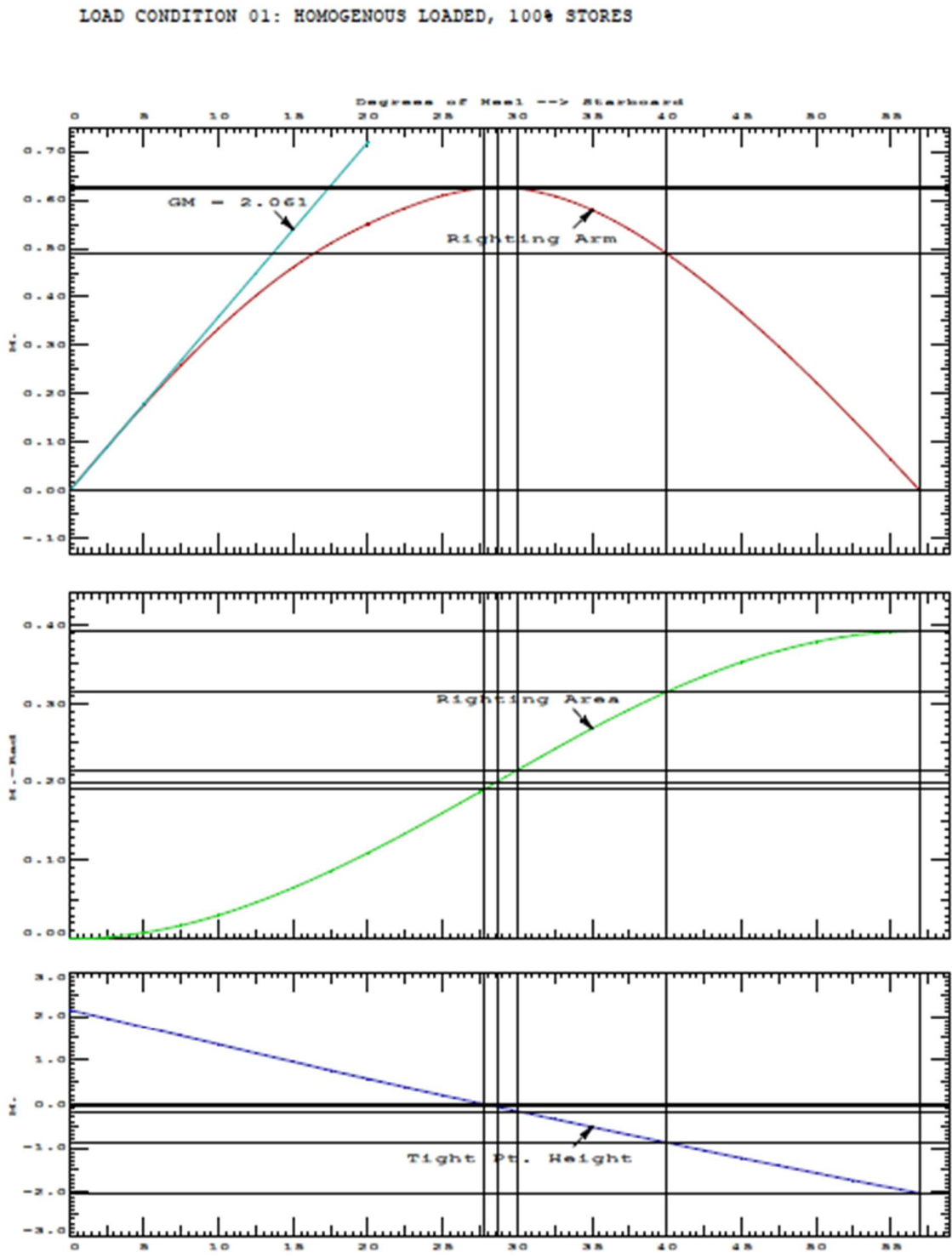
Origin	Degrees of	Displacement	Righting Arms		Flood Pt	
Depth---	Trim---	Heel---	Weight (MT)---	in Trim---	in Heel---	Area--Height
2.425	0.92a	0.00	401.46	0.000	0.000	0.0000 2.149(1)
2.422	0.92a	2.50s	401.46	0.000	0.090	0.0020 1.952(1)
2.412	0.92a	5.00s	401.46	0.000	0.177	0.0078 1.753(1)
2.394	0.91a	7.50s	401.46	0.000	0.259	0.0173 1.553(1)
2.364	0.89a	10.00s	401.46	0.000	0.335	0.0303 1.353(1)
2.322	0.86a	12.50s	401.46	0.000	0.403	0.0464 1.153(1)
2.265	0.81a	15.00s	401.45	0.000	0.462	0.0653 0.955(1)
2.194	0.74a	17.50s	401.45	0.000	0.511	0.0865 0.760(1)
2.110	0.67a	20.00s	401.44	0.000	0.551	0.1097 0.568(1)
2.012	0.58a	22.50s	401.46	0.000	0.583	0.1345 0.380(1)

LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

1.903	0.48a	25.00s	401.46	0.000	0.609	0.1605	0.196(1)
1.787	0.38a	27.50s	401.46	0.000	0.625	0.1874	0.015(1)
1.777	0.37a	27.71s	401.46	0.000	0.625	0.1897	-0.000(1)
1.734	0.34a	28.64s	401.46	0.000	0.627	0.1998	-0.066(1)
1.670	0.29a	30.00s	401.46	0.000	0.624	0.2147	-0.164(1)
1.552	0.21a	32.50s	401.46	0.000	0.608	0.2417	-0.343(1)
1.433	0.13a	35.00s	401.46	0.000	0.579	0.2676	-0.521(1)
1.313	0.05a	37.50s	401.46	0.000	0.539	0.2920	-0.699(1)
1.192	0.02f	40.00s	401.46	0.000	0.490	0.3145	-0.876(1)
1.071	0.09f	42.50s	401.46	0.000	0.432	0.3346	-1.051(1)
0.949	0.15f	45.00s	401.46	0.000	0.368	0.3521	-1.224(1)
0.827	0.22f	47.50s	401.46	0.000	0.298	0.3667	-1.395(1)
0.705	0.28f	50.00s	401.46	0.000	0.224	0.3781	-1.565(1)
0.583	0.33f	52.50s	401.46	0.000	0.147	0.3861	-1.731(1)
0.461	0.38f	55.00s	401.46	0.000	0.066	0.3908	-1.895(1)
0.365	0.42f	56.99s	401.49	0.000	0.000	0.3919	-2.023(1)

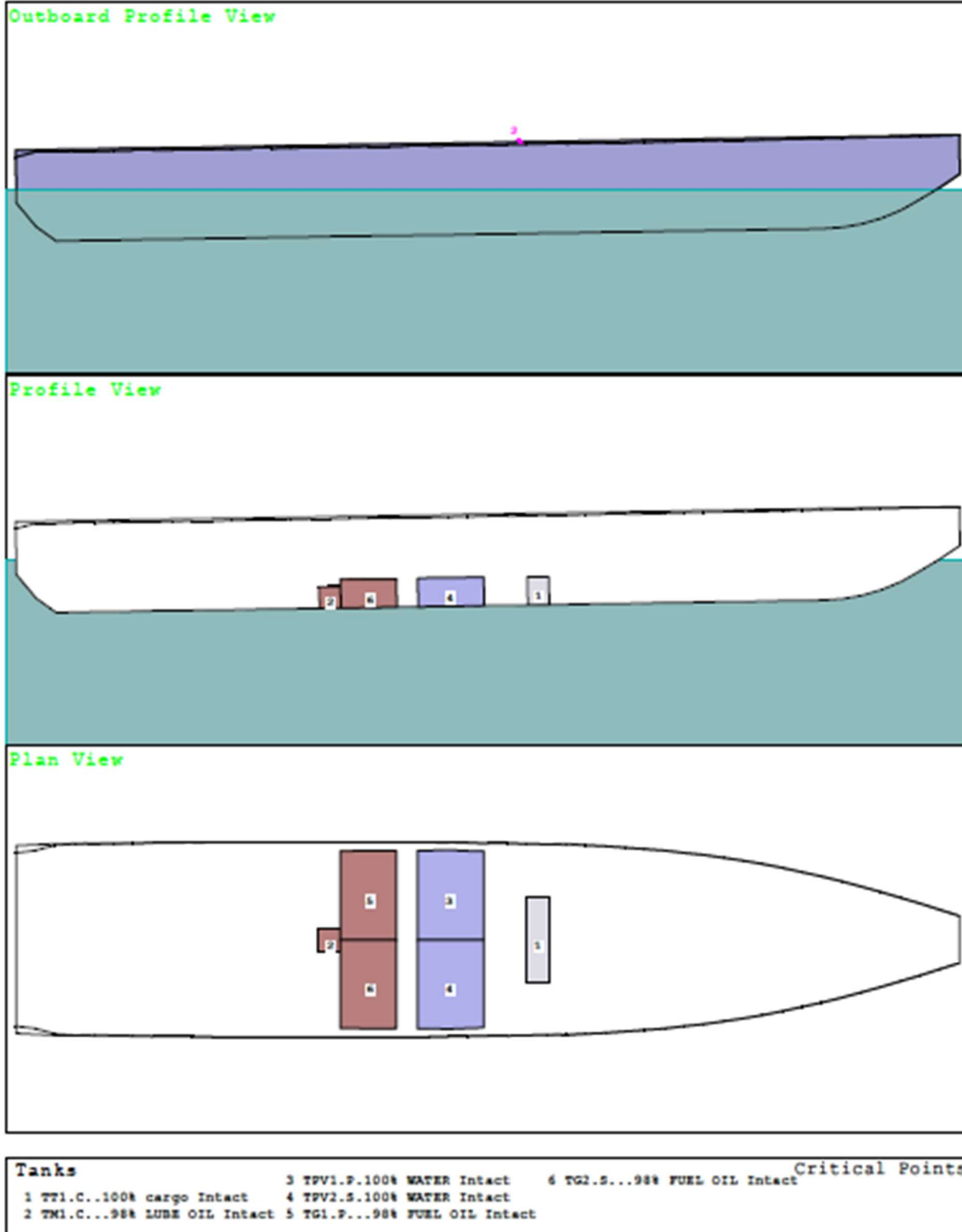
Distances in METERS.----Specific Gravity = 1.025.-----Area in m.-Rad.

	Critical Point-----	LCP-----	TCP-----	VCP
(1) AirPipe DB 2 SB	TIGHT	23.304f	4.500s	4.200
LIM-----	IMO A.167 STABILITY CRITERION-----	Min/Max-----	Attained	
(1) GM Upright	>	0.150	m.	2.061 P
(2) Area from abs 0.000 deg to 30	>	0.0550	m.-Rad	0.2147 P
(3) Area from abs 0.000 deg to 40 or Flood	>	0.0900	m.-Rad	0.3145 P
(4) Area from 30 deg to 40 or Flood	>	0.0300	m.-Rad	0.0998 P
(5) Righting Arm at 30 deg	>	0.200	m.	0.624 P
(6) Absolute Angle at MaxRA	>	25.00	deg	28.64 P
-----Relative angles measured from 0.000 -----				



LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

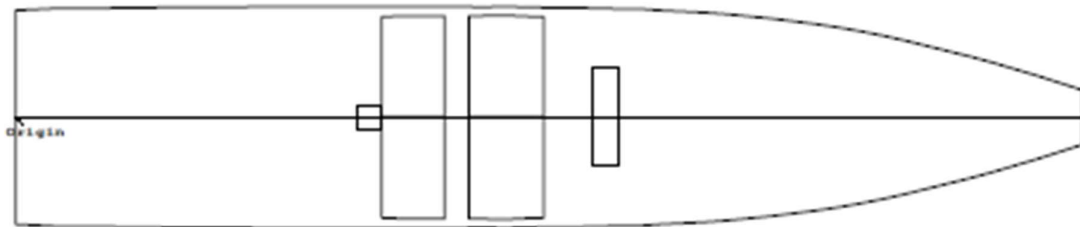
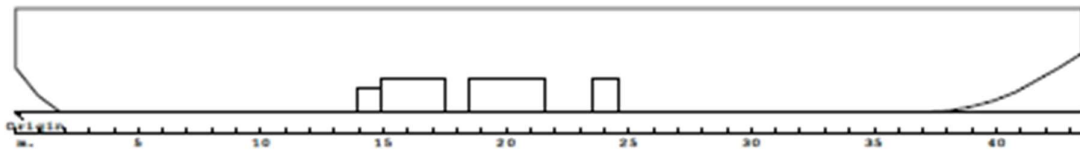
CG - Draft: 2.425 @ 0.000 Trim: aft 0.569/35.380 Heel: zero



LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

Origin Definition

 Longitudinal: Frame 0
 Transverse: Centerplane
 Vertical: Baseline



LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

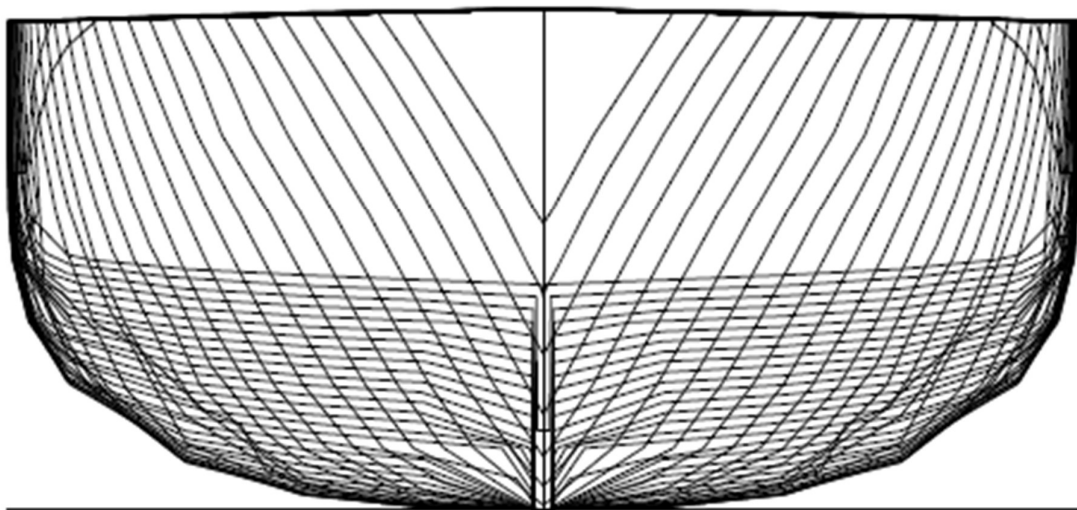
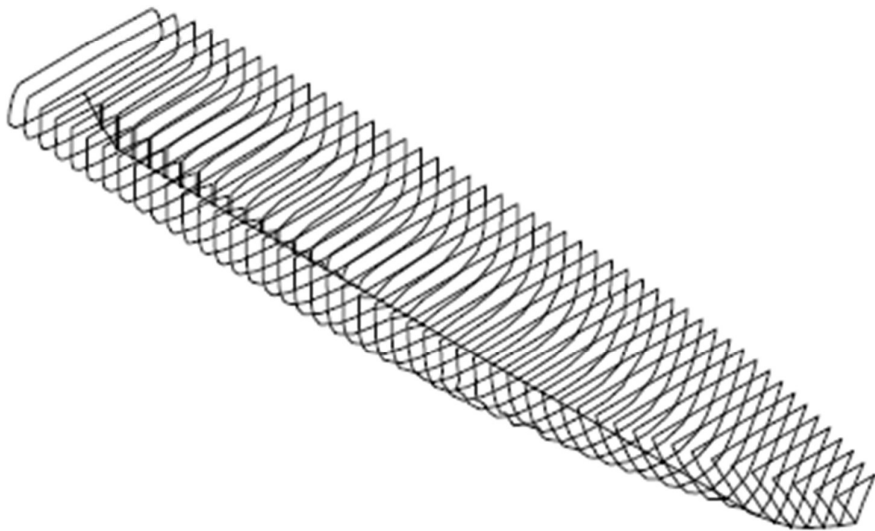
DISPLACER parts

Name	Description	Fwd	Aft	Volume
HULL		43.500f	0.000	1051.458

--- Locations in m. fwd/aft of the origin. Volumes in cubic m.. ---

LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

HULL Isometric Projection and Body Plan



LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

Part: HULL Component: HULL.C Side: CL Effectiveness: 1.000

Origin Depth: 2.424
 Trim: Aft 0.569/35.380 Heel: zero

HULL.C COMPONENT FORM

Volume = 391.6 Cubic m. LCB = 19.571f TCB = 0.000 VCB = 1.357

B L O C K D I M E N S I O N S

Length (LBP) = 35.380 Breadth = 8.909 Depth (deepest point) = 2.395
 Length/Breadth = 3.97 Length/Depth = 14.77 Breadth/Depth = 3.719
 Breadth - Length/10 = 5.371 m. Block Coefficient = 0.519
 Displacement-Length Ratio = 252.6 Length-Volume Ratio = 4.84

W A T E R P L A N E

Area = 306.0 Square m. LCA = 17.741f TCA = 0.000 VCA = 2.140
 Moments of Inertia: IL = 3.436E+04 m.^4 IT = 1.724E+03 m.^4
 Length = 42.465 Breadth = 8.909 Waterplane Coefficient = 0.809

M A X I M U M S E C T I O N

Area = 14.44 Square m. Coefficient = 0.788

P R I S M A T I C C O E F F I C I E N T S

Cp = 0.767 Cvp = 0.534

CURVES OF FORM

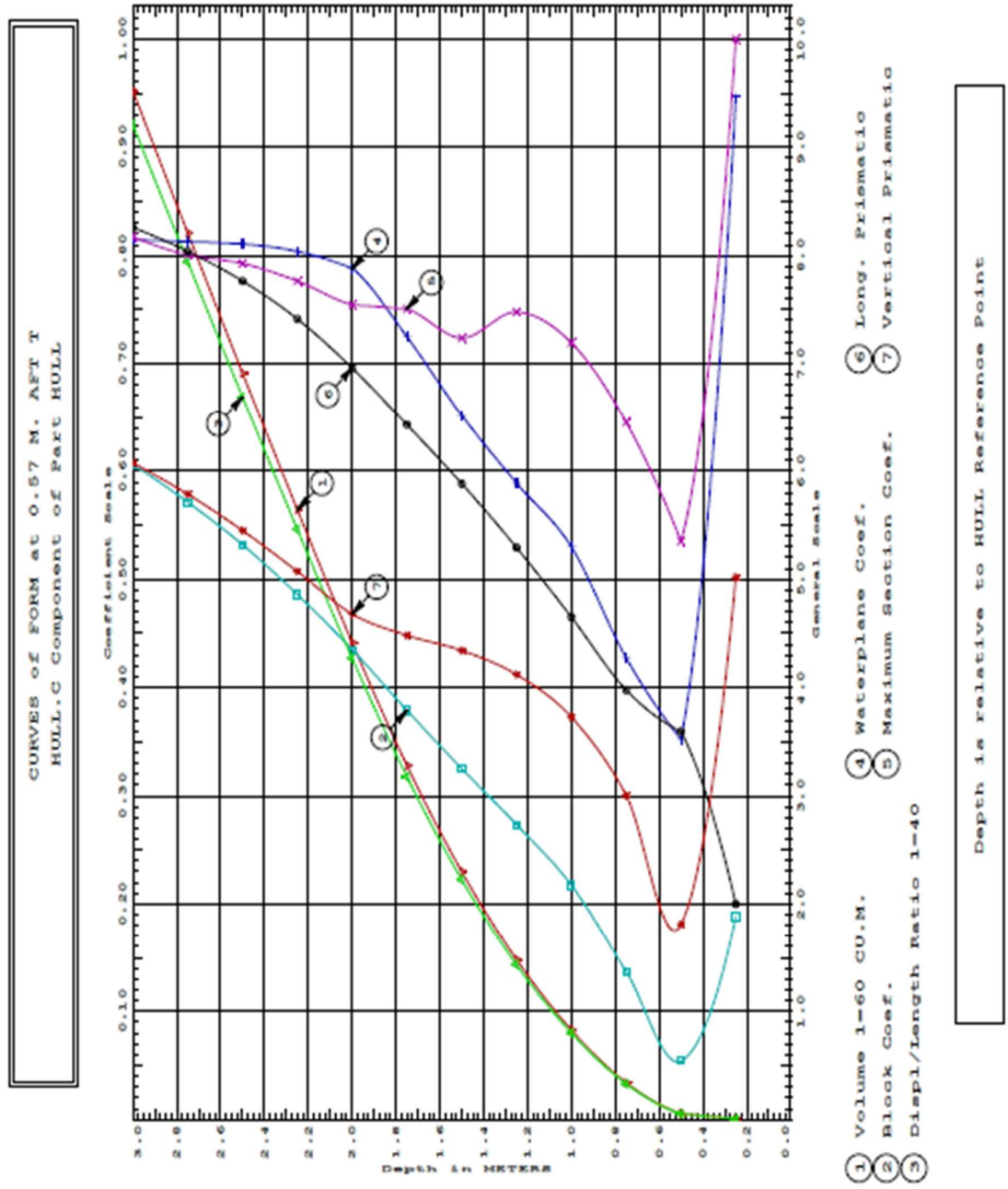
HULL.C Component of Part HULL

Trim: Aft 0.569/35.380 Heel: zero

Ref Pt	Volume	Block	Displ/	WaterPl	MaxSect	PrismaticCoefs	
Depth	(Cu m.)	Coef	Length	Coef	Coef	Long	Vert
0.250	0.256	0.188	0.2	0.947	1.000	0.200	0.502
0.500	3.212	0.054	2.1	0.352	0.535	0.359	0.181
0.750	20.42	0.137	13.2	0.427	0.645	0.398	0.301
1.000	49.63	0.217	32.0	0.530	0.719	0.465	0.373
1.250	88.80	0.273	57.3	0.589	0.748	0.529	0.412
1.500	138.0	0.325	89.0	0.652	0.724	0.588	0.434
1.750	196.9	0.379	127.0	0.725	0.751	0.643	0.448
2.000	264.9	0.435	170.9	0.788	0.754	0.696	0.468
2.250	338.7	0.486	218.5	0.804	0.776	0.741	0.507
2.500	414.8	0.532	267.6	0.811	0.793	0.777	0.545
2.750	492.5	0.571	317.7	0.813	0.800	0.804	0.579
3.000	571.2	0.606	368.4	0.814	0.817	0.826	0.607

Distances in METERS.-----Length is 35.38-----
 HULL Reference Point: Long.= 0.000 Trans.= 0.000 Vert.= 0.000

LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES



LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES

CROSS CURVES OF STABILITY

Showing righting arms in heel at VCG = 0.00

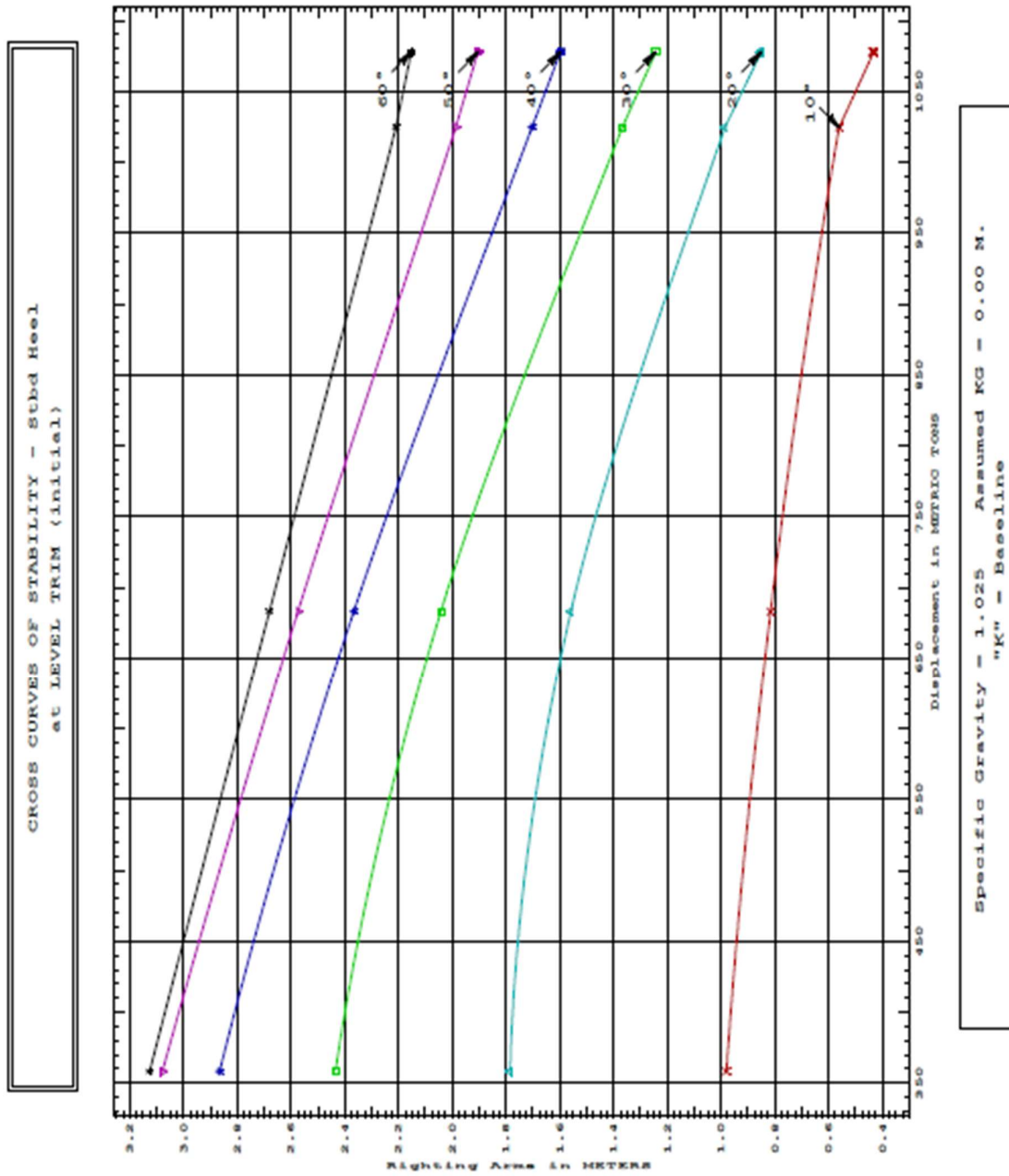
Trim: zero at zero heel (trim righting arm held at zero)

Displacement METRIC TONS	Heel Angles in Degrees					
	10.00s	20.00s	30.00s	40.00s	50.00s	60.00s
358.43	0.980s	1.786s	2.434s	2.865s	3.079s	3.126s
683.07	0.815s	1.558s	2.042s	2.366s	2.574s	2.680s
1,024.55	0.561s	0.985s	1.367s	1.703s	1.987s	2.209s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.598s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s
1,077.74	0.432s	0.850s	1.243s	1.597s	1.904s	2.152s

Distances in METERS.---Specific Gravity = 1.025.-----

Free surface ignored.

LOAD CONDITION 01: HOMOGENOUS LOADED, 100% STORES



Vremenski kriterij određuje se prema pravilima HRB-a, dio 35. Jahte, točka 20.2.3. [20].

Poluga nagiba vjetra l_{w1} određena je formulom:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta} = 0,106 \text{ m} \quad (1)$$

Gdje su:

- $P = 319 \text{ Pa}$, specifični tlak vjetra,
- $A = 252,02 \text{ m}^2$, bočna površina broda iznad vodne linije,
- $Z = 5,21 \text{ m}$, vertikalna udaljenost od težišta površine A do polovice gaza,
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, ubrzanje sile teže,
- $\Delta = 401,39 \text{ t}$, istisnina.

Poluga nagiba vjetra l_{w2} određena je formulom:

$$l_{w2} = K \cdot l_{w1} = 0,160 \text{ m} \quad (2)$$

Gdje je:

- $K = 1,5$, faktor.

Kut ljuljanja θ_1 iznosi:

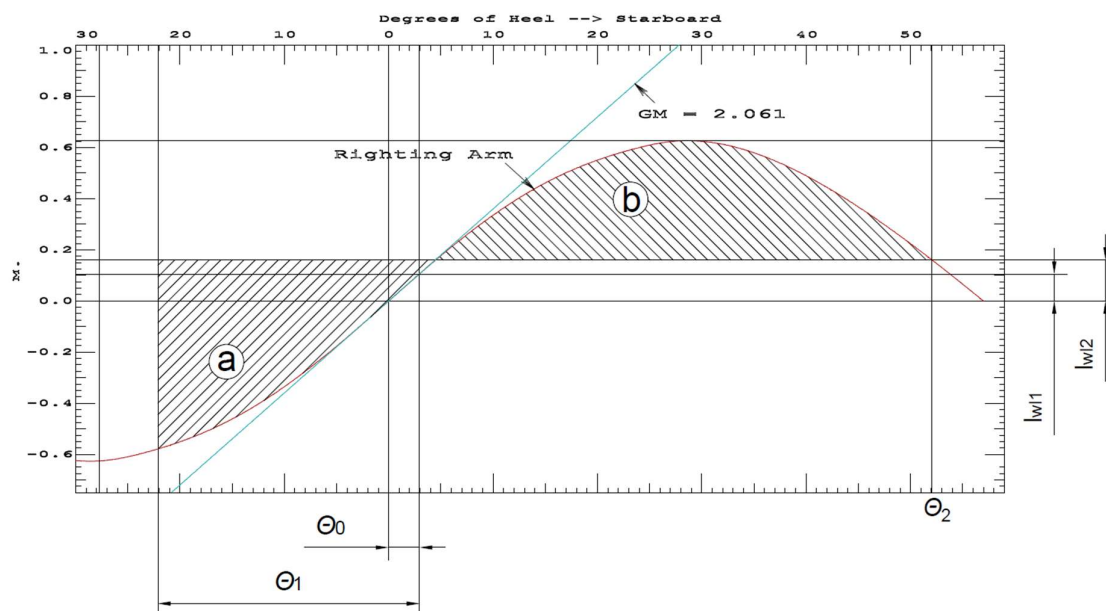
$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s} = 25,06^\circ \quad (3)$$

Gdje su:

- $k = 1$, za brodove s okruglim uzvojem,
- $X_1 = 0,8$, faktor,
- $X_2 = 0,83$, faktor,
- $r = 0,73 + 0,6 \cdot OG / d = 1,20$, faktor,
 - $OG = KG - d = 1,90 \text{ m}$,
 - $KG = 4,32 \text{ m}$, vertikalni položaj težišta broda iznad osnovice,
 - $d = 2,425 \text{ m}$, gaz broda,
- $s = 0,1$, faktor.

Pomoću programskog paketa GHS dobivena je krivulja poluge statičkog stabiliteta te su određene tražene vrijednosti, što je prikazanom Slikom 1.

Slika 1. Krivulja poluge stabiliteta – stanje krcanja 1



Sa Slike 1. očitane su preostale vrijednosti:

$$\theta_0 = 2,95^\circ \quad (4)$$

$$\theta_2 = 50,21^\circ \quad (5)$$

$$a = 0,199 \text{ mrad} \quad (6)$$

$$b = 0,246 \text{ mrad} \quad (7)$$

2. Stanje krcanja 2

LOAD CONDITION 02: HOMOGENOUS LOADED, 10% STORES

WEIGHT and DISPLACEMENT and CRITICAL POINT STATUS
 Baseline draft: 2.332 @ Origin
 Trim: Aft 0.597/35.380, Heel: zero

Part	Weight (MT)	LCG	TCG	VCG
FIXED WEIGHT	325.00	19.200f	0.000	4.320
TT1.C	39.19	24.041f	0.000	0.678
TM1.C	0.06	14.448f	0.000	0.175
TPV1.P	1.12	20.131f	0.789p	0.224
TPV2.S	1.12	20.131f	0.789s	0.224
TG1.P	0.73	16.413f	0.495p	0.343
TG2.S	0.73	16.413f	0.495s	0.343
Total Tanks	42.95	23.564f	0.000	0.642
Total Weight	367.95	19.709f	0.000	3.891
HULL	367.95	19.665f	0.000	1.292

Righting Arms: 0.000 0.000
 Distances in METERS. Moments in m.-MT.

Critical Points	LCP	TCP	VCP	Height
(1) AirPipe DB 2 SB	TIGHT 23.304f	4.500s	4.200	2.261
(2) AirPipe DB 2 PS	TIGHT 23.304f	4.500p	4.200	2.261

Distances in METERS.

HYDROSTATIC PROPERTIES
 Trim: Aft 0.597/35.380, No Heel

Origin	Displacement	Center of Buoyancy
Depth	Weight (MT)	LCB TCB VCB WPA LCF BML BMT
2.331	367.95	19.665f 0.000 1.292 302.7 17.640f 93.60 4.676

Distances in METERS. Specific Gravity = 1.025. True Free Surface included.

RIGHTING ARMS vs HEEL ANGLE

Total CG: LCG = 19.709f TCG = 0.000 VCG = 3.891
 Free Surface Adjustment: 0.024
 Adjusted CG: LCG = 19.710f TCG = 0.000 VCG = 3.915

Origin	Degrees of	Displacement	Righting Arms	Flood Pt
Depth	Trim	Heel	Weight (MT)	Area
2.331	0.97a	0.00	367.95	0.0000
2.328	0.97a	2.50s	367.95	0.0020
2.317	0.96a	5.00s	367.95	0.0078
2.295	0.95a	7.50s	367.95	0.0173
2.260	0.91a	10.00s	367.95	0.0301
2.212	0.87a	12.50s	367.94	0.0458
2.148	0.80a	15.00s	367.95	0.0638
2.071	0.72a	17.50s	367.93	0.0838
1.980	0.63a	20.00s	367.95	0.1053
1.875	0.53a	22.50s	367.85	0.1279

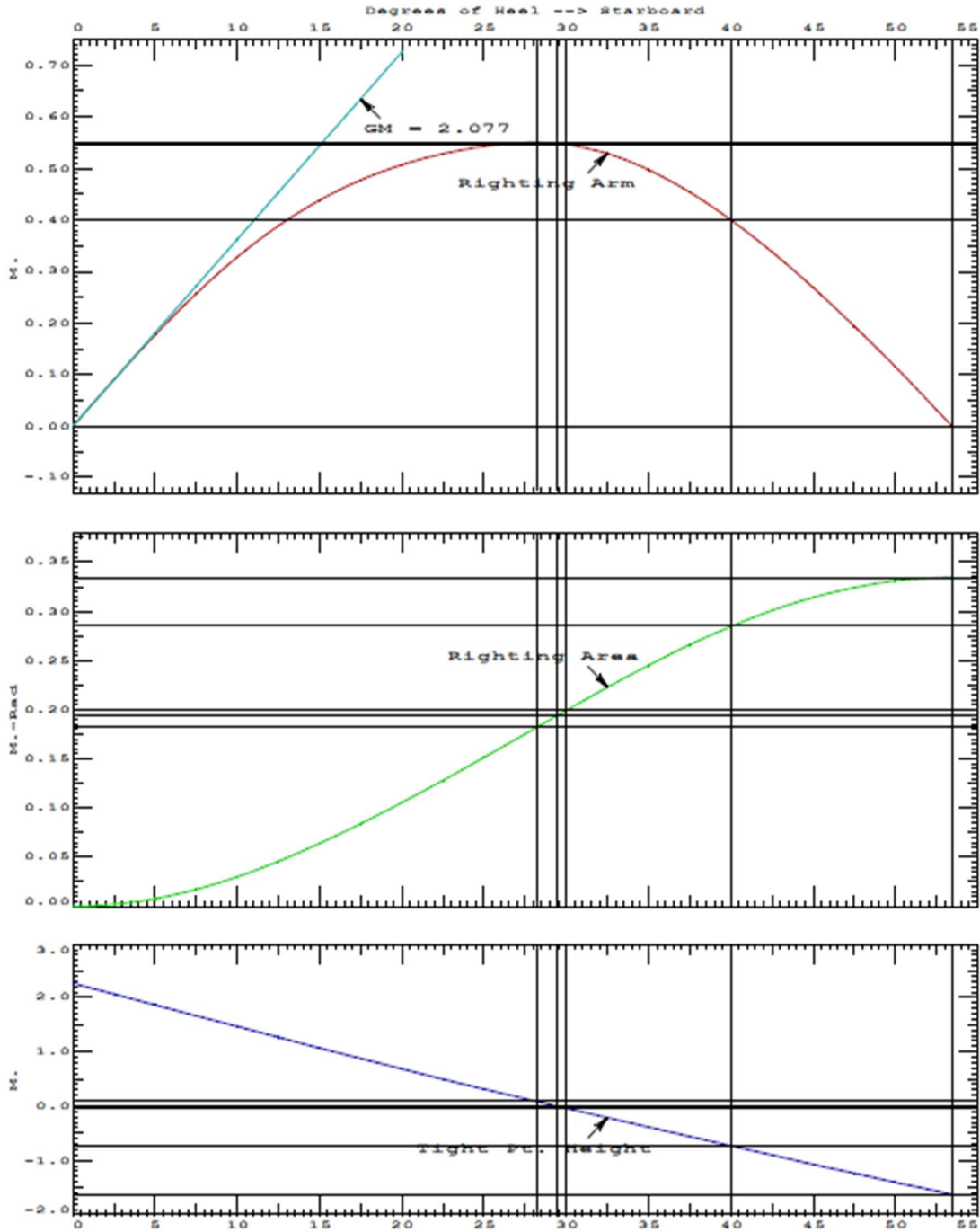
LOAD CONDITION 02: HOMOGENOUS LOADED, 10% STORES

1.760	0.42a	25.00s	367.95	0.000	0.542	0.1513	0.313(1)
1.634	0.30a	27.50s	367.94	0.000	0.550	0.1751	0.135(1)
1.597	0.26a	28.21s	367.95	0.000	0.550	0.1819	0.085(1)
1.533	0.21a	29.42s	367.95	0.000	0.549	0.1935	-0.000(1)
1.502	0.18a	30.00s	367.95	0.000	0.547	0.1991	-0.040(1)
1.370	0.08a	32.50s	367.95	0.000	0.529	0.2226	-0.214(1)
1.239	0.02f	35.00s	367.95	0.000	0.497	0.2450	-0.388(1)
1.107	0.11f	37.50s	367.95	0.000	0.454	0.2657	-0.560(1)
0.975	0.20f	40.00s	367.95	0.000	0.400	0.2844	-0.732(1)
0.843	0.28f	42.50s	367.93	0.000	0.338	0.3005	-0.902(1)
0.711	0.36f	45.00s	367.94	0.000	0.269	0.3138	-1.071(1)
0.580	0.44f	47.50s	367.94	0.000	0.195	0.3239	-1.238(1)
0.449	0.51f	50.00s	367.93	0.000	0.115	0.3307	-1.403(1)
0.319	0.57f	52.50s	367.93	0.000	0.033	0.3339	-1.565(1)
0.270	0.60f	53.46s	368.00	0.000	0.000	0.3342	-1.627(1)

Distances in METERS.---Specific Gravity = 1.025.-----Area in m.-Rad.

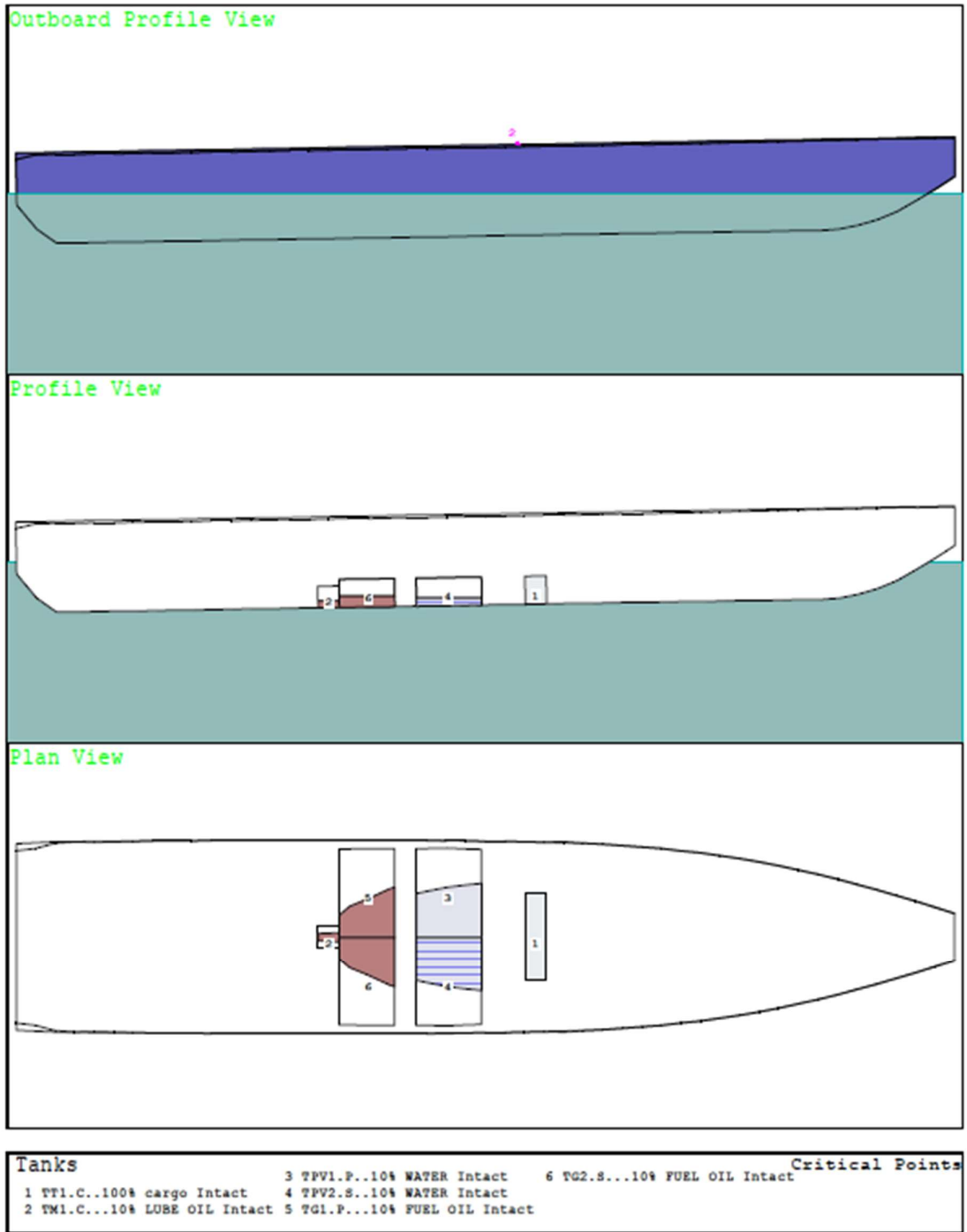
	Critical Point-----	LCP-----	TCP-----	VCP
(1) AirPipe DB 2 SB	TIGHT	23.304f	4.500s	4.200
LIM-----	IMO A.167 STABILITY CRITERION-----	Min/Max-----	Attained	
(1) GM Upright	>	0.150	m.	2.077 P
(2) Area from abs 0.000 deg to 30	>	0.0550	m.-Rad	0.1991 P
(3) Area from abs 0.000 deg to 40 or Flood	>	0.0900	m.-Rad	0.2844 P
(4) Area from 30 deg to 40 or Flood	>	0.0300	m.-Rad	0.0853 P
(5) Righting Arm at 30 deg	>	0.200	m.	0.547 P
(6) Absolute Angle at MaxRA	>	25.00	deg	28.21 P
-----Relative angles measured from 0.000 -----				

LOAD CONDITION 02: HOMOGENOUS LOADED, 10% STORES



LOAD CONDITION 02: HOMOGENOUS LOADED, 10% STORES

CG - Draft: 2.332 @ 0.000 Trim: aft 0.597/35.380 Heel: zero



Postupak određivanja vremenskog kriterija jednak je kao i za slučaj krcanja 1.

Poluga nagiba vjetra l_{w1} određena je formulom:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta} = 0,122 \text{ m} \quad (8)$$

Gdje su:

- $P = 322,8$ Pa, specifični tlak vjetra,
- $A = 264,62 \text{ m}^2$, bočna površina broda iznad vodne linije,
- $Z = 5,27$ m, vertikalna udaljenost od težišta površine A do polovice gaza,
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, ubrzanje sile teže,
- $\Delta = 377,15$ t, istisnina.

Poluga nagiba vjetra l_{w2} određena je formulom:

$$l_{w2} = K \cdot l_{w1} = 0,182 \text{ m} \quad (9)$$

Gdje je:

- $K = 1,5$, faktor.

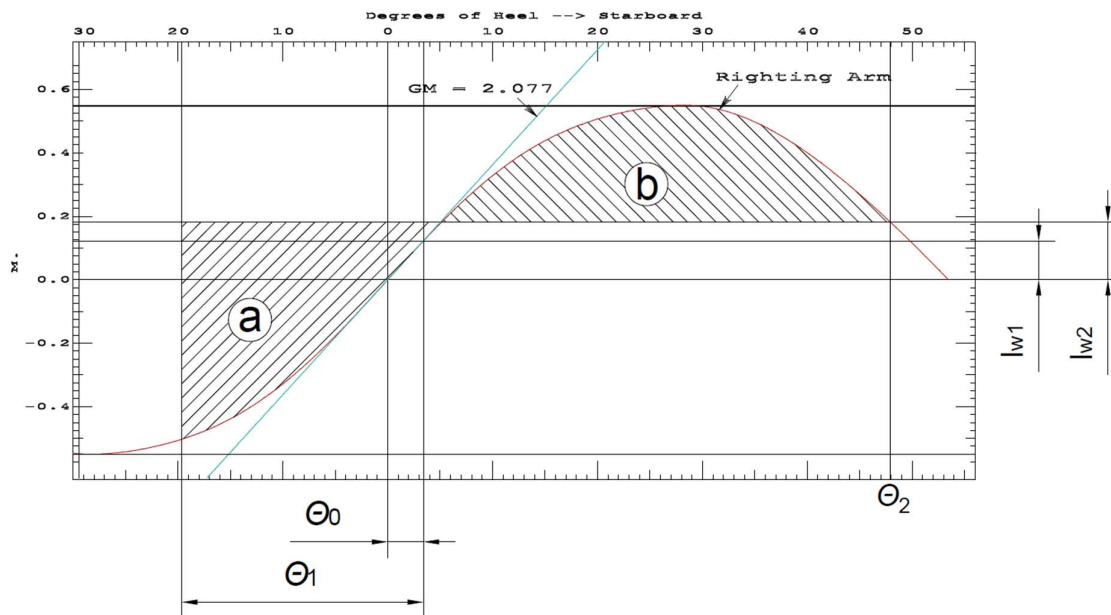
Kut ljuljanja θ_1 iznosi:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s} = 23,04^\circ \quad (10)$$

Gdje su:

- $k = 1$, za brodove s okruglim uzvojem,
- $X_1 = 0,8$, faktor,
- $X_2 = 0,75$, faktor,
- $r = 0,73 + 0,6 \cdot OG / d = 1,24$, faktor,
 - $OG = KG - d = 1,99$ m,
 - $KG = 4,32$ m, vertikalni položaj težišta broda iznad osnovice,
 - $d = 2,332$ m, gaz broda,
- $s = 0,1$, faktor.

Pomoću programskog paketa GHS dobivena je krivulja poluge statičkog stabiliteta te su određene tražene vrijednosti, što je prikazanom Slikom 2.



Slika 2. Krivulja poluge stabiliteta – stanje krcanja 2

Sa Slike 2. očitane su preostale vrijednosti:

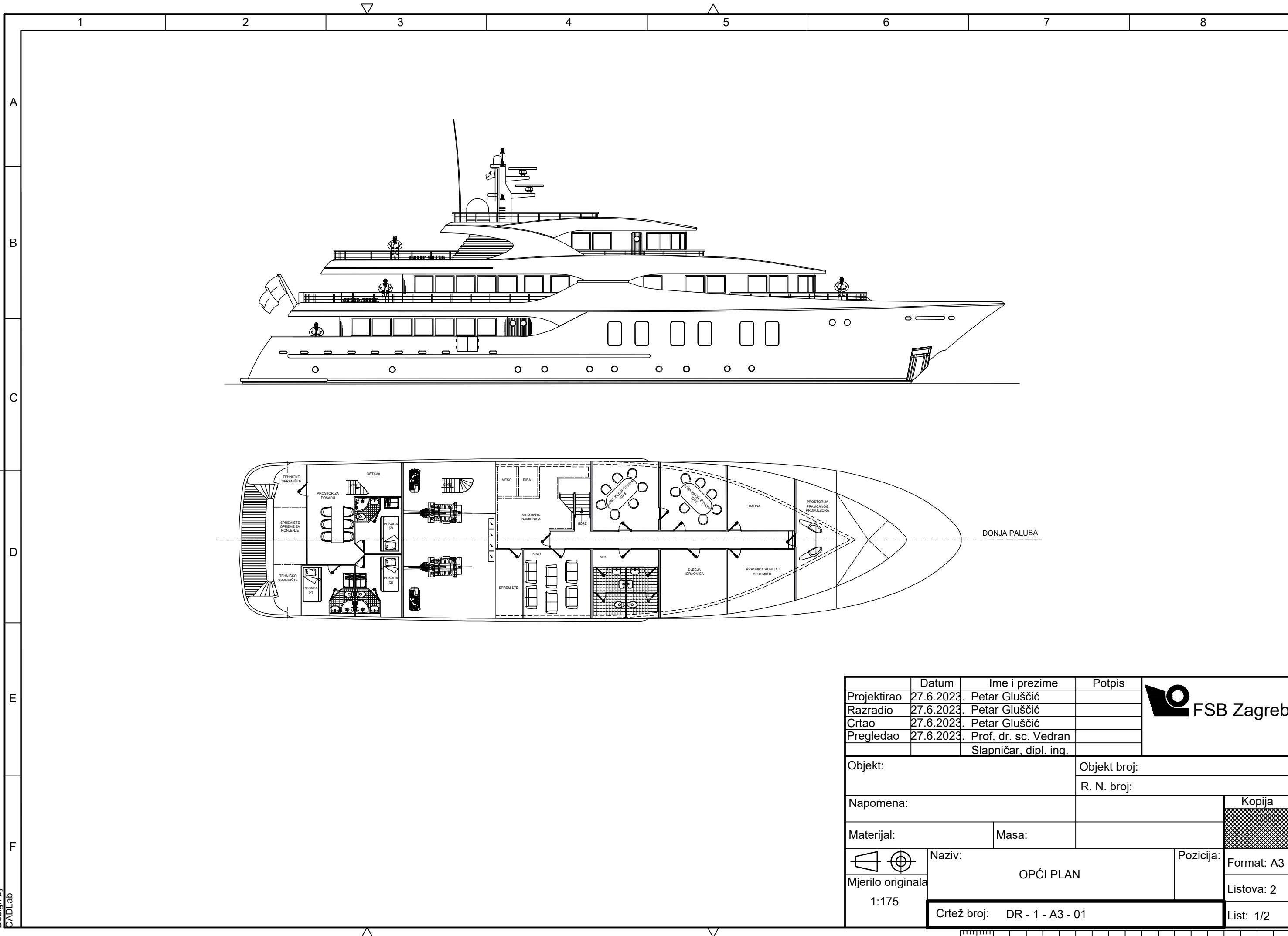
$$\theta_0 = 3,40^\circ \tag{11}$$

$$\theta_2 = 47,92^\circ \tag{12}$$

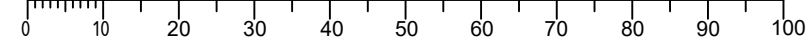
$$a = 0,173 \text{ mrad} \tag{13}$$

$$b = 0,181 \text{ mrad} \tag{14}$$

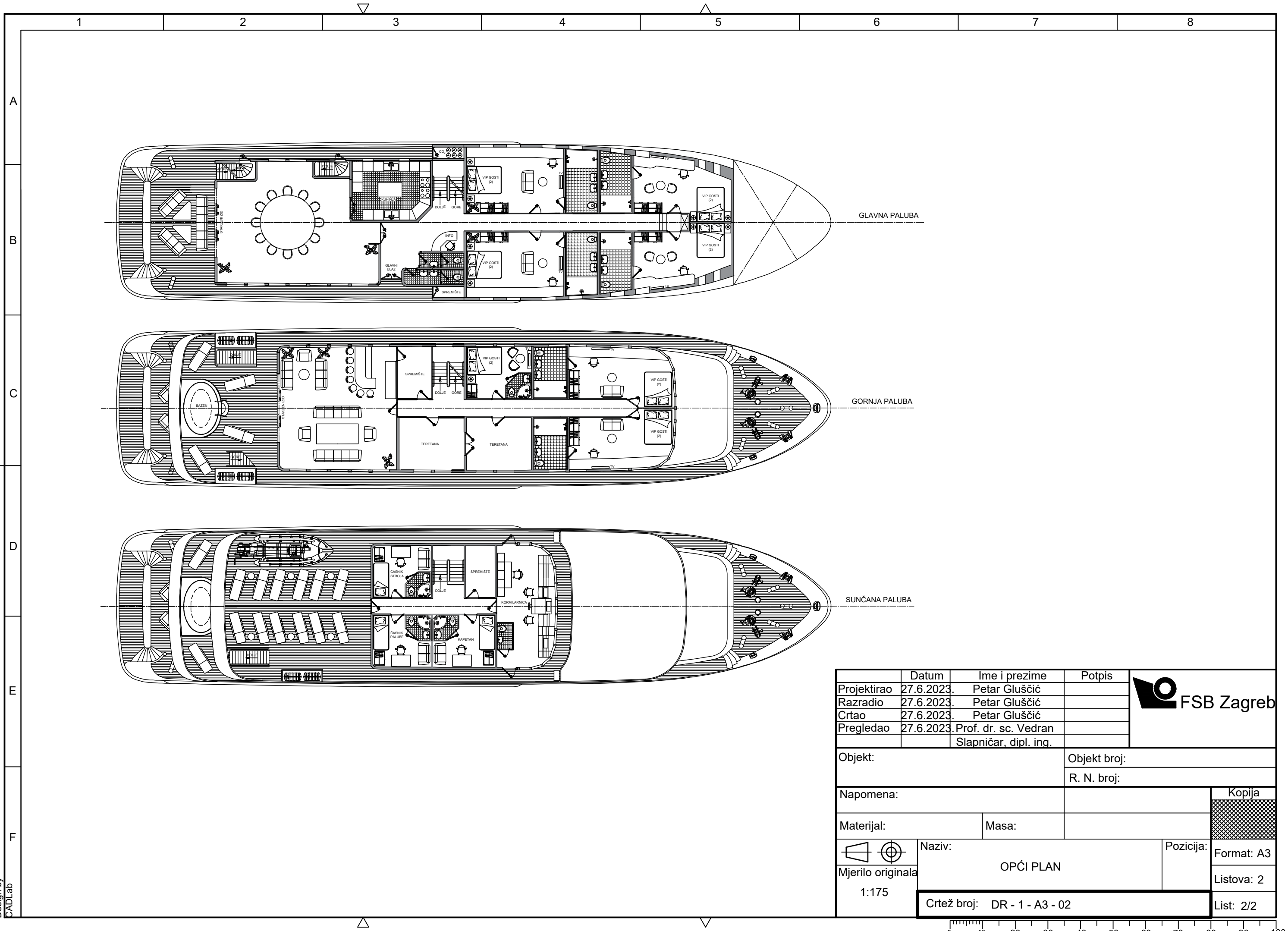
Prilog V.
Tehnička dokumentacija



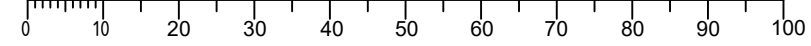
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Razradio	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Crtao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Pregledao	27.6.2023.	Prof. dr. sc. Vedran		
		Slapničar, dipl. ing.		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	OPĆI PLAN			Listova: 2
1:175	Crtež broj: DR - 1 - A3 - 01			List: 1/2



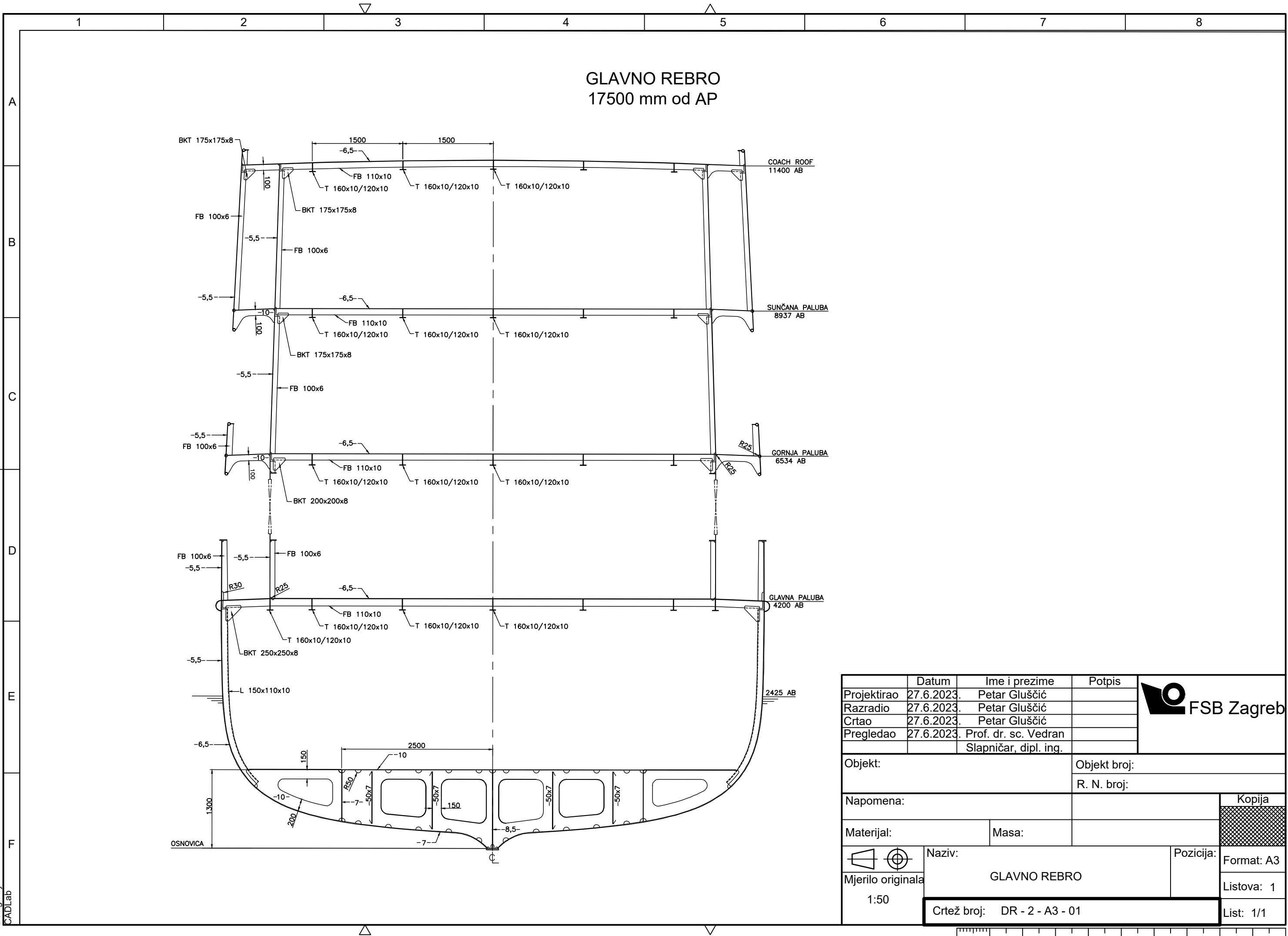
Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Razradio	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Crtao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Pregledao	27.6.2023.	Prof. dr. sc. Vedran Slapničar, dipl. ing.		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	OPĆI PLAN			Listova: 2
1:175	Crtež broj: DR - 1 - A3 - 02			List: 2/2

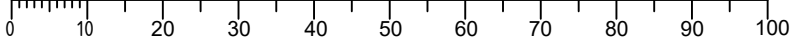


Design by CADLab

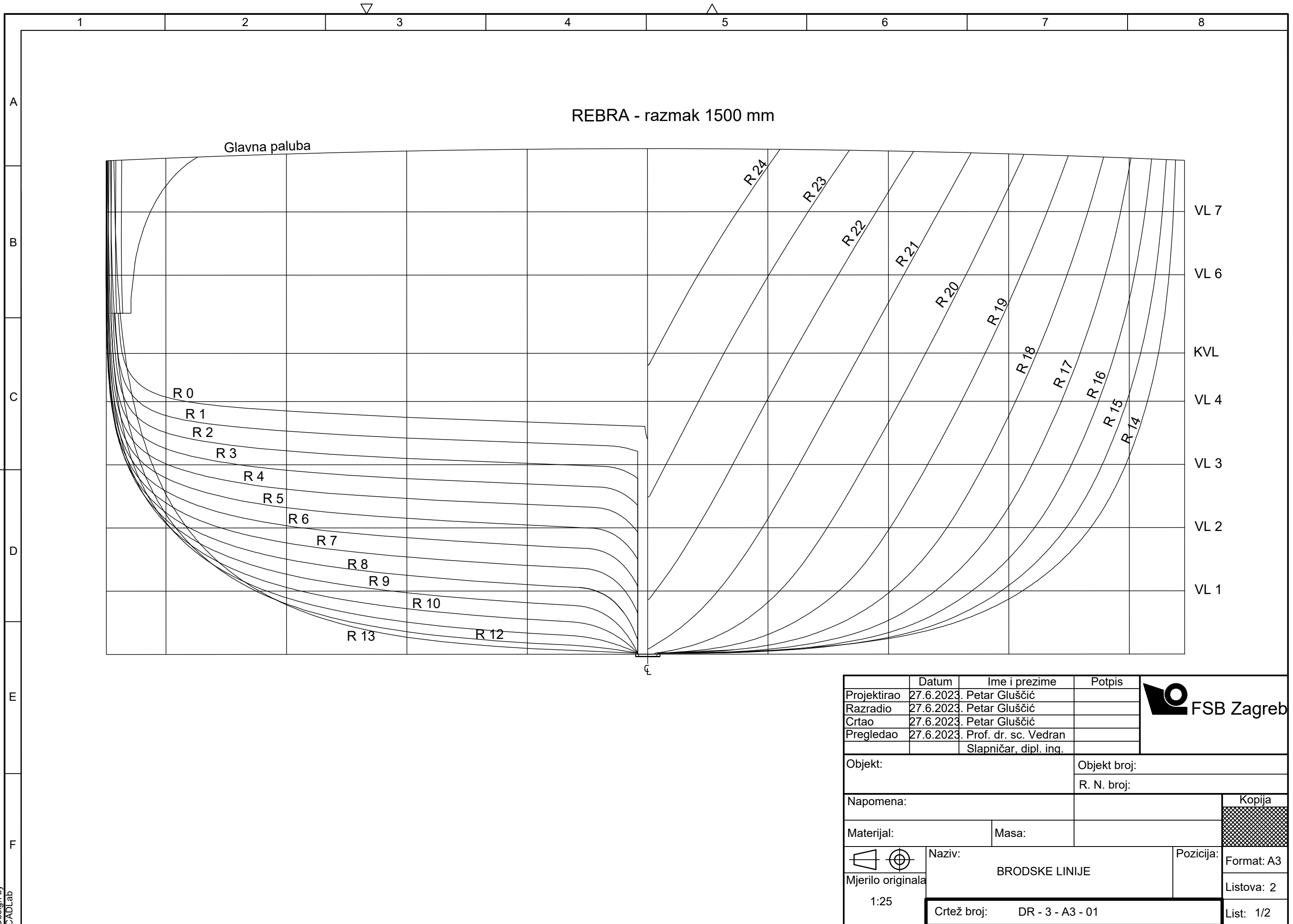


GLAVNO REBRO
17500 mm od AP

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Razradio	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Crtao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Pregledao	27.6.2023.	Prof. dr. sc. Vedran Slapničar, dipl. ing.		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
Naziv:		Pozicija:		
Mjerilo originala		GLAVNO REBRO		Format: A3
1:50		Crtež broj: DR - 2 - A3 - 01		Listova: 1
				List: 1/1



Design by
CADLab

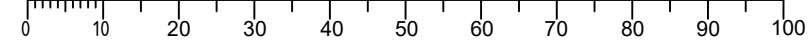


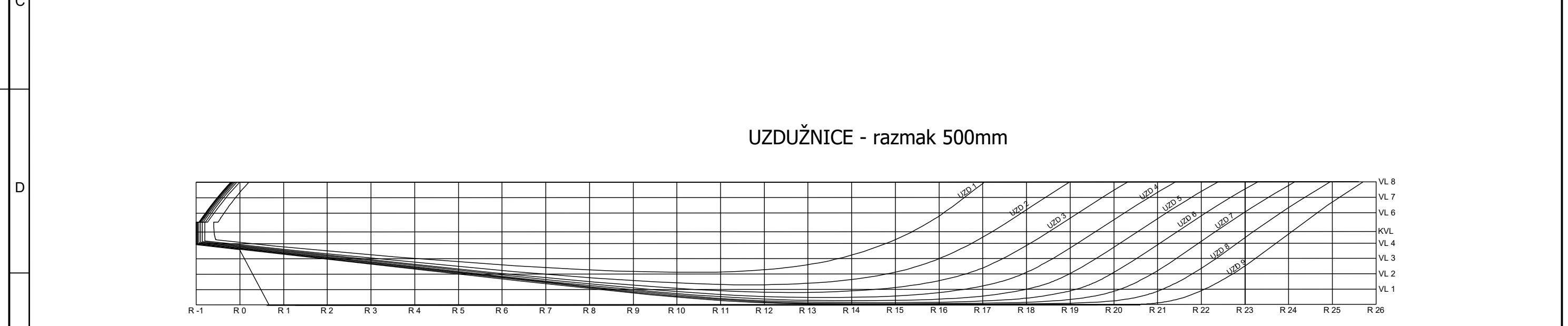
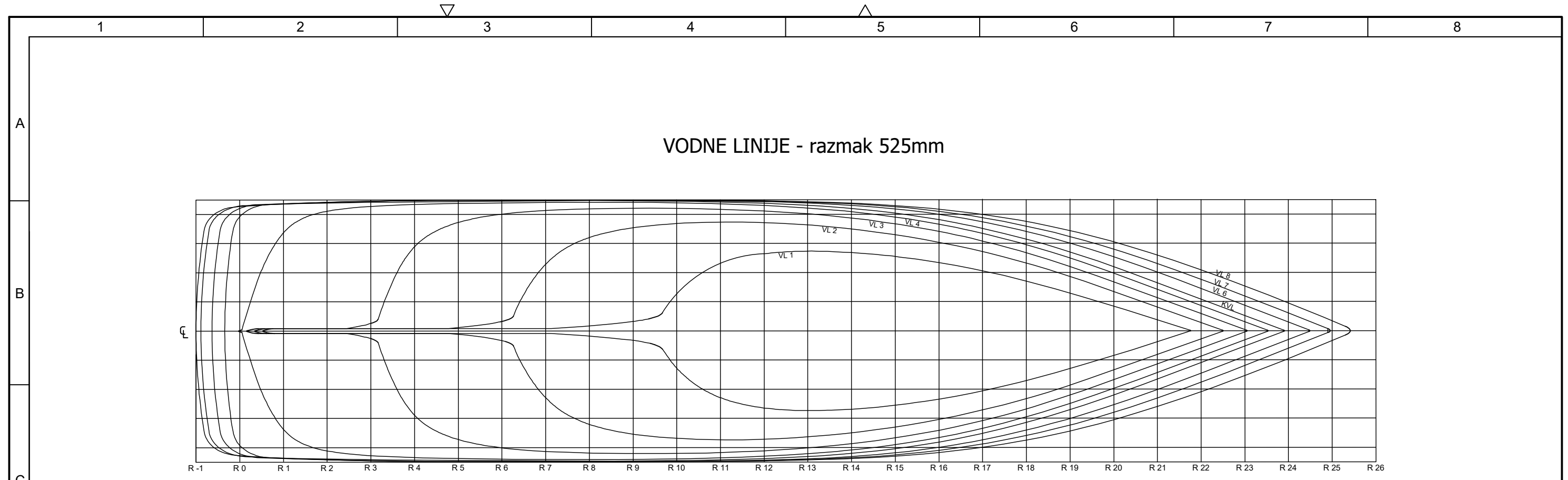
REBRA - razmak 1500 mm


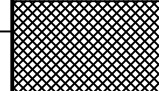
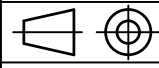
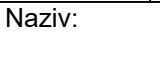
Glavna paluba

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Razradio	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Crtao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Pregledao	27.6.2023.	Prof. dr. sc. Vedran Slapničar, dipl. ing.		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
Naziv:			Pozicija:	
BRODSKE LINIJE			Format: A3	
Mjerilo originala			Listova: 2	
1:25			List: 1/2	
Crtež broj:		DR - 3 - A3 - 01		

Design by CADLab





Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Crtao	27.6.2023.	Petar Gluščić		
Pregledao	27.6.2023.	Prof. dr. sc. Vedran Slapničar, dipl. ing.		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:		Masa:		
 Naziv:		 Pozicija:		
Mjerilo originala		BRODSKE LINIJE		Format: A3
1:125		Crtež broj: DR - 3 - A3 - 02		Listova: 2
				List: 2/2

Design by CADLab

