

# Stabilitet broda za krstarenje u oštećenom stanju

---

**Klarić, Ante Krešimir**

**Undergraduate thesis / Završni 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:235:633138>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-29**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ante Krešimir Klarić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

Student:

Ante Krešimir Klarić

Zagreb, 2023.

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

Želim se posebno zahvaliti svojem mentoru izv. prof. dr. sc. Ivanu Čatipoviću te dipl. ing. Ivanu Muniću na trudu, vremenu, strpljenju i znanju koje su mi prenijeli kroz izradu završnog rada i studiranje. Hvala vam na svemu! Veliko hvala mojim roditeljima, mojoj obitelji, prijateljima i djevojci te kolegama na studiju koji su mi bili velika podrška i oslonac. Od srca hvala svima i hvala dragome Bogu na svemu.

Ante Krešimir Klarić



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ante Krešimir Klarić** JMBAG: **0035224196**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Stabilitet broda za krstarenje u oštećenom stanju**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Cruise ship stability in damaged condition**

Opis zadatka:

Proračun stabiliteta broda sastavni je dio projektne dokumentacije. Procjene svojstva broda sa stanovišta stabiliteta provodi se u neoštećenom i oštećenom stanju. Brod u oštećenom stanju mora biti dovoljno stabilan da bi se omogućilo spašavanje putnika i posade te ako je moguće i tereta koji broda prevozi. Stabilitet u oštećenom stanju temelji se na konfiguraciji nepropusnih pregrada i paluba koje ograničavaju naplavljivanje prostora u brodu nakon oštećenja trupa. Ova konfiguracija se provjerava proračunom stabiliteta u oštećenom stanju.

Za odabrani brod i za zadana stanja krcanja potrebno je povesti:

1. proračun stabiliteta u neoštećenom stanju,
2. proračun stabiliteta u oštećenom stanju primjenom determinističkog pristupa,
3. proračun stabiliteta u oštećenom stanju primjenom probablističkog pristupa,
4. usporedbu dobivenih rezultata s zahtjevima relevantnih pravila.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	Stabilitet putničkog broda u neoštećenom stanju .....	2
2.1	Kriteriji za proračun stabiliteta u neoštećenom stanju .....	2
2.1.1	Kriteriji poluge stabiliteta .....	2
2.1.2	Kriterij vremenskih prilika.....	2
2.1.3	Dodatni kriteriji za putničke brodove .....	4
3	Stabilitet putničkog broda u oštećenom stanju .....	5
3.1	Deterministička metoda .....	5
3.1.1	Kriteriji za proračun stabiliteta u oštećenom stanju determinističkom metodom.5	
3.1.1.1	Pretpostavljeni opseg oštećenja: .....	5
3.1.1.2	Kriteriji stabiliteta po SOLAS-u za jedan odjeljak .....	5
3.2	Probabilistička metoda.....	6
3.2.1	Zahtijevani indeks pregrađivanja R .....	7
3.2.2	Dobiveni (postignuti) indeks pregrađivanja A.....	8
3.2.3	Faktor $p_i$ .....	10
3.2.3.1	Za slučaj oštećenja jedne zone.....	10
3.2.3.2	Za slučaj oštećenja dvije susjedne zone.....	11
3.2.4	Faktor $s_i$ .....	13
3.2.5	Faktor $v_i$ .....	15
3.2.6	Naplavljenost .....	16
4	Forma za proračun stabiliteta i opći podaci o brodu.....	17
4.1	Forma broda .....	17
4.2	Opći podaci o brodu.....	18
4.3	Kriterij vremenskih prilika.....	19
5	Proračun stabiliteta putničkog broda M/B „Alfa Mario“ u neoštećenom stanju .....	20
5.1	Proračun stabiliteta u neoštećenom stanju .....	20
5.1.1	Propisana stanja krcanja.....	20
5.1.2	Proračun stabiliteta za propisana stanja krcanja .....	22
5.1.2.1	Brod sa 36 putnika, tankovi 100%; Putnici raspoređeni simetrično.....	22
5.1.2.2	Brod sa 36 putnika, tankovi 100%; Putnici raspoređeni bočno .....	25
5.1.2.3	KN krivulje .....	28
6	Proračun stabiliteta putničkog broda M/B „Alfa Mario“ u oštećenom stanju determinističkom metodom .....	29
6.1	Granična linija urona.....	29
6.2	Duljina vodonepropusnih odjeljaka .....	29
6.3	Propisana stanja krcanja.....	30
6.1	Proračun stabiliteta u oštećenom stanju .....	30
6.1.1	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 1 .....	32
6.1.2	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 2 .....	33
6.1.3	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 3 .....	34
6.1.4	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 4 .....	36
6.1.5	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 5 .....	37
6.1.6	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 6 .....	39
6.1.7	Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 7 .....	40

---

7	Proračun stabiliteta putničkog broda M/B „Alfa Mario“ u oštećenom stanju probabilističkom metodom.....	42
7.1	Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_s$ .....	46
7.2	Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_p$ .....	47
7.3	Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_l$ .....	48
7.4	Ukupni indeks pregrađivanja $A$ .....	49
8	ZAKLJUČAK.....	50

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Teški vjetar i valovi [3].....	3
Slika 2. Deterministički kriteriji [3] .....	6
Slika 3 Prikaz različitih stanja krcanja [2] .....	8
Slika 4 Prikaz teorijskog trokuta oštećenja jedne zone [2] .....	10
Slika 5 Prikaz teoretskog trokuta oštećenja dvije zone [2] .....	11
Slika 6 Prikaz podjele broda na zone i njihovo označavanje [2] .....	12
Slika 7 Objašnjenje za $Hm$ .....	15
Slika 8 Skica rebara.....	17
Slika 9 Bokocrt.....	17
Slika 10 Prostorni prikaz forme .....	18
Slika 11 Prikaz površine izložene vjetru .....	19
Slika 12 Dijagram poluge stabiliteta 1 .....	23
Slika 13 Dijagram poluge stabiliteta 4 .....	25
Slika 14 $KN$ krivulje.....	28
Slika 15 Dijagram poluge stabiliteta 1 .....	32
Slika 16 Dijagram poluge stabiliteta 2 .....	33
Slika 17 Dijagram poluge stabiliteta 3 .....	35
Slika 18 Dijagram poluge stabiliteta 4 .....	36
Slika 19 Dijagram poluge stabiliteta 5 .....	38
Slika 20 Dijagram poluge stabiliteta 6 .....	39
Slika 21 Dijagram poluge stabiliteta 7 .....	41



**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Deterministički parametri.....	5
Tablica 2 Iznos indeksa pregrađivanja $R$ .....	7
Tablica 3 Izrazi za određivanje vrijednosti $v$ .....	15
Tablica 4 Koeficijenti naplavljenosti putničkog broda .....	16
Tablica 5 Propisana stanja krcanja .....	20
Tablica 6 Raspored tekućina u tankovima u odlasku – 100%.....	20
Tablica 7 Raspored tekućine u tankovima na putovanju – 50% .....	20
Tablica 8 Raspored tekućine u tankovima u dolasku – 10%.....	21
Tablica 9 Putnici raspoređeni simetrično .....	21
Tablica 10 Putnici pokraj bočne ograde .....	21
Tablica 11 Stanje krcanja 1 .....	22
Tablica 12 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 1 .....	23
Tablica 13 IMO kriteriji 1 .....	24
Tablica 14 IMO kriteriji vremenskih prilika .....	24
Tablica 15 Stanje krcanja 4 .....	25
Tablica 16 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 4.....	26
Tablica 17 IMO kriteriji 4 .....	26
Tablica 18 IMO kriteriji vremenskih prilika .....	27
Tablica 19 Tablica $KN$ krivulje .....	28
Tablica 20 Očitavanja za graničnu liniju urona .....	29
Tablica 21 Stanje krcanja – Odlazak .....	31
Tablica 22 Stanja oštećenja .....	31
Tablica 23 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 1 .....	32
Tablica 24 Kriteriji SOLAS-a 1 .....	32
Tablica 25 Karakteristične točke 1 .....	33
Tablica 26 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 2.....	33
Tablica 27 Kriteriji SOLAS-a 2 .....	34
Tablica 28 Karakteristične točke 2.....	34
Tablica 29 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 3.....	34
Tablica 30 Karakteristične točke 3.....	35
Tablica 31 Kriteriji SOLAS-a 3 .....	35
Tablica 32 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 4.....	36
Tablica 33 Karakteristične točke 4.....	36
Tablica 34 Kriteriji SOLAS-a 4 .....	37
Tablica 35 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 5.....	37
Tablica 36 Karakteristične točke 5.....	37
Tablica 37 Kriteriji SOLAS-a 5 .....	38
Tablica 38 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 6.....	39
Tablica 39 Karakteristične točke 6.....	39
Tablica 40 Kriteriji SOLAS-a 6 .....	40
Tablica 41 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 7.....	40
Tablica 42 Karakteristične točke 7.....	40
Tablica 43 Kriteriji SOLAS-a 7 .....	41
Tablica 44 Uzdužni položaj zona .....	42
Tablica 45 Unos podataka u program MaxSurf-Stability .....	43
Tablica 46 Stanje krcanja za gaz $d_s$ .....	44
Tablica 47 Stanje krcanja za gaz $d_p$ .....	44
Tablica 48 Stanje krcanja za gaz $d_l$ .....	45

---

Tablica 49 Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_s$ .....	46
Tablica 50 Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_p$ .....	47
Tablica 51 Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_l$ .....	48
Tablica 52 Postignuti i traženi indeksi pregrađivanja .....	49

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$GZ$	m	poluga stabiliteta
$\varphi$	°	kut nagiba broda
$GZ_{max}$	m	maksimalni iznos poluge stabiliteta
$GM_0$	m	početna metacentarska visina
$lw_1$	m	poluga stalnog vjetra
$\varphi_0$	°	kut nagiba pod utjecajem konstantnog vjetra
$\varphi_1$	°	kut nagiba zbog djelovanja valova
$\varphi_2$	°	kut naplavljivanja
$lw_2$	m	poluga naleta vjetra
$A$	m <sup>2</sup>	površina definirana slikom 1
$B$	m <sup>2</sup>	površina definirana slikom 1
$P$	Pa	tlak uzrokovan vjetrom
$A$	m <sup>2</sup>	projicirana bočna površina za dio broda iznad vodne linije
$Z$	m	vertikalna udaljenost od težišta površine A do polovine gaza
$\Delta$	t	istisnina
$G$	m/s <sup>2</sup>	ubrzanje zemljine sile teže
$M_{h2}$	KNm	moment nagibanja uslijed okretanja broda
$\Delta$	t	istisnina
$L$	m	duljina broda na vodnoj liniji
$KG$	m	udaljenost težišta sustava broda od gornjeg ruba kobilice
$D$	m	srednji gaz broda
$v_o$	m/s	brzina u službi
$R$	m	radijus kruga okretaja
$GM$	m	metacentarska visina
$R$	/	zahtijevani indeks pregrađivanja
$N$	/	ukupan broj ljudi na brodu
$A$	/	postignuti indeks pregrađivanja
$P$	/	vjerojatnost da će odjeljak biti napavljen
$V$	/	vjerojatnost da odjeljak iznad horizontalne pregrade ostane čitav
$S$	/	vjerojatnost preživljavanja nakon naplavljivanja
$I$	/	broj razmatranog odjeljka
$d_s$	m	najveći gaz broda
$d_p$	m	brod na gazu od 60% najvećeg gaza broda $d_s$
$d_l$	m	brod na lakoj vodnoj liniji sa 10% zaliha
$A_s$	/	parcijalni indeks izračunat za gaz $d_s$

$A_p$	/	parcijalni indeks izračunat za gaz $d_p$
$A_l$	/	parcijalni indeks izračunat za gaz $d_l$
$j$	/	broj oštećene zone gledajući od krmenog dijela broda
$k$	/	broj uzdužnih pregrada koje sprječavaju prodor u poprečnom smjeru
$x_1$	m	udaljenost od početka duljine $l_s$ gledajući s krme do krmene pregrade oštećene zone
$x_2$	m	udaljenost od početka duljine $l_s$ gledajući s krme do pramčane pregrade oštećene zone
$b$	m	poprečna udaljenost u metrima mjerena od oplata do uzdužne pregrade na najvećem gazu
$S_i$	/	vjerojatnost preživljavanja naplavljenog broda uključujući jedan ili skupinu odjeljaka
$S_{final,i}$	/	vjerojatnost preživljavanja u konačnoj fazi naplave
$\theta_e$	°	poprečni kut nagiba broda u ravnotežnom stanju za bilo koje stanje naplave
$Range$	m	raspon pozitivnih poluga stabiliteta
$\theta_{min}$	°	minimalni kut nagiba broda, za putničke brodove
$\theta_{max}$	°	maksimalni kut nagiba broda, za putničke brodove
$S_{mom,i}$	/	vjerojatnost preživljavanja maksimalnog momenta nagibanja vjetra
$M_{passenger}$	Nm	moment uzrokovan gibanjem putnika na jednu stranu broda
$M_{survivalcraft}$	Nm	maksimalni pretpostavljeni moment nagibanja zbog spuštanja potpuno napunjenog čamaca za preživljavanje
$T$	m	gaz
$H_m$		najmanja visina do prve horizontalne pregrade iznad vodne linije
$H_{m-1}$		najmanja visina do (m-1) horizontalne pregrade iznad vodne linije
$m$	/	označava svaku horizontalnu pregradu gledajući od vodne linije prema gore
$L_{oa}$	m	duljina preko svega
$L_{pp}$	m	duljina između okomica
$B$	m	širina
$Z_A$	m	težište izložene površine iznad osnovka
$A_k$	m <sup>2</sup>	površina centralne kobilice
$C_p$	/	prizmatički koeficijent
$C_b$	/	koeficijent punoće
$LCB$	m	uzdužni položaj težišta istisnine
$LCF$	m	uzdužni položaj težišta broda
$GMt$	m	poprečna metacentarska visina

---

*KN*

m

stvarna visina metacentra

---

**SAŽETAK**

U ovom završnom radu je proveden proračun stabiliteta putničkog broda u neoštećenom i oštećenom stanju. Navedena su pravila po kojima se provodi svaka od navedenih metoda i kriteriji koje brod mora zadovoljiti za velike kutove nagiba. Zatim su prikazane opće karakteristike forme na kojoj se provodi proračun. Unesena su tražena stanja krcanja za ovaj tip broda te definirana granična linija urona. Proveden je proračun za prethodno navedene metode te su prikazani rezultati. Dan je zaključak o rezultatima proračuna i predložen alternativni način za zadovoljiti kriterije.

Ključne riječi: stabilitet, neoštećeno, oštećeno, kut nagiba, kriteriji, stanja krcanja, granična linija urona, naplavljenost, probabilistički, deterministički, putnički brod, SOLAS, IMO

---

**SUMMARY**

This final paper includes the stability calculation of a passenger ship in intact and damaged conditions. The rules for both methods and the criteria that the ship must meet for large angles of inclination are noted. Then, the general characteristics of the hull form used in the calculation are presented. The requested loading conditions for this type of ship and the defined immersion boundary line are entered. The calculation was carried out for the aforementioned methods, and the results are presented. A conclusion is given regarding the calculation results, and an alternative way to meet the criteria is proposed.

Key words: stability, intact, damaged, heel angle, criterion, load case, margin line, permeability, probabilistic, deterministic, passenger ship, SOLAS, IMO

## **1 UVOD**

Stabilitet je svojstvo broda da održi brod uspravnim unatoč svim nastalim okolnostima tokom plovidbe. Stabilnost broda je ključna značajka za sigurnost i učinkovitost broda na moru. To se odnosi na sposobnost broda da se suprotstavi silama koje bi mogle uzrokovati njegovo prevrtanje ili potonuće. Postoje mnogi faktori koji utječu na stabilnost broda, uključujući oblik trupa te raspodjelu masa. Gubitak stabiliteta je jedan od najčešćih razloga gubitka brodova. Stabilitet broda je najčešće ugrožen na valovitom moru uslijed djelovanja vjetra i valova, pomaka tereta, prodora mora u trup broda, prelazak svih putnika na jedan bok broda i slično.

U ovom završnom radu fokusirat će se na brod za prijevoz putnika na višednevnim putovanjima i nautički turizam na području Jadranskog mora. Cilj ovoga rada je provesti proračun stabiliteta putničkog broda u neoštećenom stanje te oštećenom stanju determinističkom i probabilističkom metodom u programskom paketu MaxSurf, po kriterijima Hrvatskog registra brodova.



## 2 Stabilitet putničkog broda u neoštećenom stanju

Kao što i sam naziv kaže, kada provodimo proračun stabiliteta u neoštećenom stanju razmatramo trup kao zatvoreni volumen koji pluta na slobodnoj površini. Svi tankovi i odjeljci u brodu se također smatraju neoštećenima. Intact stability code nam daje detaljniji uvid u teoriju, te zahtjeve za putnički brod u neoštećenom stanju. Svrha Code-a je predstaviti obavezne i preporučene kriterije stabiliteta i druge načine da se osigura sigurna plovidba broda te minimalizira rizik za brod, posadu i okoliš, [1].

### 2.1 Kriteriji za proračun stabiliteta u neoštećenom stanju

#### 2.1.1 Kriteriji poluge stabiliteta

Površina ispod  $GZ$  krivulje ne smije biti manja od 0.055 metar-radijana za nagib broda  $\varphi = 30^\circ$ . Površina ispod  $GZ$  krivulje ne smije biti manja od 0.09 metar-radijana za nagib broda  $\varphi = 40^\circ$  ili do kuta naplavlivanja ako je on manji od  $40^\circ$ . Također, površina ispod  $GZ$  krivulje ne smije biti manja od 0.03 metar-radijana za nagib broda između  $\varphi = 30^\circ$  i  $\varphi = 40^\circ$ . Poluga stabiliteta  $GZ$  mora iznositi barem 0.2 m za nagib broda koji je jednak ili veći od  $30^\circ$ . Maksimalni iznos poluge stabiliteta  $GZ_{max}$  mora se pojaviti pri kutu nagiba većem od  $25^\circ$ . Ukoliko kriterij za iznos kut nagiba pri  $GZ_{max}$  nije zadovoljen, dovoljno je zadovoljiti sljedeći kriterij:

$$\text{Površina ispod } GZ_{max} \text{ req.} = 0.055 + 0.001 (30^\circ - \varphi_{max}) < \text{Površina ispod } GZ_{max} \quad (1.1)$$

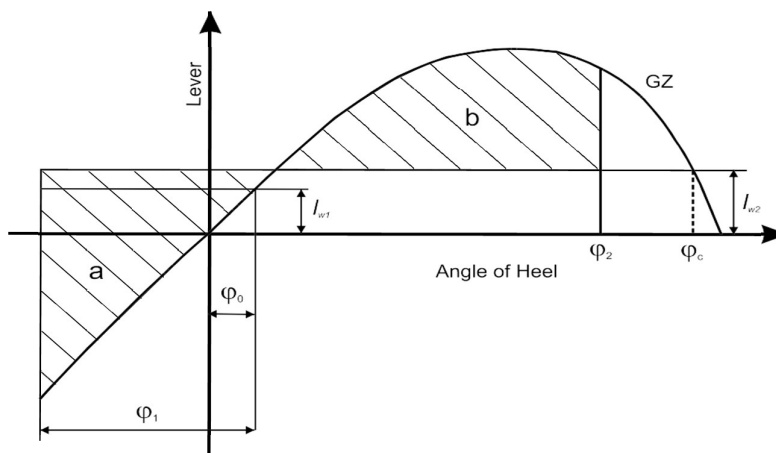
Početna metacentarska visina  $GM_0$  ne smije biti manja od 0.15m, [1]

#### 2.1.2 Kriterij vremenskih prilika

Sposobnost broda da podnese učinak kombinacije bočnog vjetera i valova se dokazuje se zadovoljavanjem pravila prikazanih na slici 1 koja glase :

- Brod se izlaže stalnom pritisku vjetera koji djeluje okomito na središnju liniju broda što rezultira polugom stalnog vjetera ( $lw_1$ );
- Od kuta nagiba kod ostvarene ravnoteže ( $\varphi_0$ ), pretpostavlja se da se brod nagnje uslijed djelovanja valova do kuta nagiba ( $\varphi_1$ ) u smjeru djelovanja vjetera. Kut nagiba uslijed djelovanja vjetera konstantne brzine ( $\varphi_0$ ) ne smije premašiti vrijednost od  $16^\circ$  ili vrijednost od 80% od kuta nagiba kod kojeg uranja rub palube, ovisno o tome koja je vrijednost manja.
- Zatim se brodu izlaže pritisku naleta vjetera koji rezultira polugom naleta vjetera ( $lw_2$ );

- U tim okolnostima, područje  $b$  mora biti jednako ili veće od područja  $a$ , kako je prikazano na slici 1 ispod:



Slika 1 Teški vjetar i valovi [3]

Gdje su kutovi sa slike 1 definirani na sljedeći način:

- $\varphi_0$  = kut nagiba pod utjecajem konstantnog vjetra
- $\varphi_1$  = kut nagiba u privjetrinu zbog djelovanja valova
- $\varphi_2$  = kut naplavljivanja

Poluge nagiba vjetra  $l_{w1}$  i  $l_{w2}$  su konstantnog iznosa pri svim kutovima nagiba te se računaju na sljedeći način :

$$l_{w1} = \frac{P * A * Z}{1000 * G * \Delta} \quad (m) \quad (1)$$

$$l_{w2} = 1.5 * l_{w1} \quad (2)$$

$P$  = tlak uzrokovan vjetrom od 504 Pa

$A$  = projicirana bočna površina za dio broda iznad vodne linije ( $m^2$ )

$Z$  = vertikalna udaljenost od težišta od  $A$  do polovine gaza (m)

$\Delta$  = istisnina (t)

$g$  = ubrzanje Zemljine sile teže od  $9.81 \text{ m/s}^2$ , [1].

### 2.1.3 Dodatni kriteriji za putničke brodove

Kut nagiba broda uslijed okupljanja ljudi na jednom boku, uz samo ogradu, broda ne smije prijeći  $10^\circ$ . Pretpostavljena težina svakog putnika je 75 kg.

- Visina težišta putnika je zadana na sljedeći način:
  1. 1 m iznad razine palube ako putnik stoji uspravno
  2. 0.3 m iznad sjedala ako putnik sjedi

Kut nagiba kobilice uslijed okretanja ne smije premašiti  $10^\circ$  kada se računa po sljedećoj formuli:

$$M_{h2} = 0.196 * \frac{v_0^2}{R * g} * \Delta * (KG - \frac{d}{2}) \quad (3)$$

$M_{h2}$  – moment nagibanja uslijed okretanja broda, [KNm];

$\Delta$  – istisnina, [t];

$L$  – duljina broda na vodnoj liniji, [m];

$KG$  – udaljenost težišta sustava broda od gornjeg ruba kobilice, [m];

$d$  – srednji gaz broda, [m];

$v_0$  – brzina u službi, [m/s];

$R$  – radijus kruga okretaja, [1].

Preporuka za slučaj plovidbe sa valovima koji dolaze u krmu. Zbog mogućnosti trenutnog gubitka stabiliteta pri plovidbi na valovima preporuča se da brzina broda ne bude veća od:

$$V = 1.4 * \sqrt{L} = 1.4 * \sqrt{41.5} = 9.02 \text{ čv} \quad (4)$$

### 3 Stabilitet putničkog broda u oštećenom stanju

#### 3.1 Deterministička metoda

Deterministička metoda se temelji na standardnim dimenzijama oštećenja koja se protežu po duljini trupa broda ili između nepropusnih pregrada. Deterministički pristup stabilitetu broda u oštećenom stanju se zasniva na propisanim empirijskim pravilima koji su dobiveni iz analiza dosadašnjih oštećenja. Kriteriji ovise o tipu broda, broju putnika, vrsti tereta itd. Isti kriteriji se koriste za sve tipove brodova, ali iznos parametara se mijenja ovisno o tipu broda. S obzirom da se u ovom radu vrši proračun putničkog broda, koristit ćemo se pravilima SOLAS-a, [2].

#### 3.1.1 Kriteriji za proračun stabiliteta u oštećenom stanju determinističkom metodom

##### 3.1.1.1 Pretpostavljeni opseg oštećenja:

- U uzdužnom smjeru: 3,0 m uvećana za 3% duljine broda, ili 11,0 m ili 10% duljine broda, ovisno o tome koja je vrijednost manja tj. 4,39 m u konkretnom slučaju
- U poprečnom smjeru (mjereno od boka prema unutra, okomito na ravninu središnjice broda na visini najviše pregradne teretne linije): udaljenost jednaka petini širine broda na najširem djelu broda tj. 1,726 m
- U vertikalnom smjeru: od osnovice neograničeno prema gore

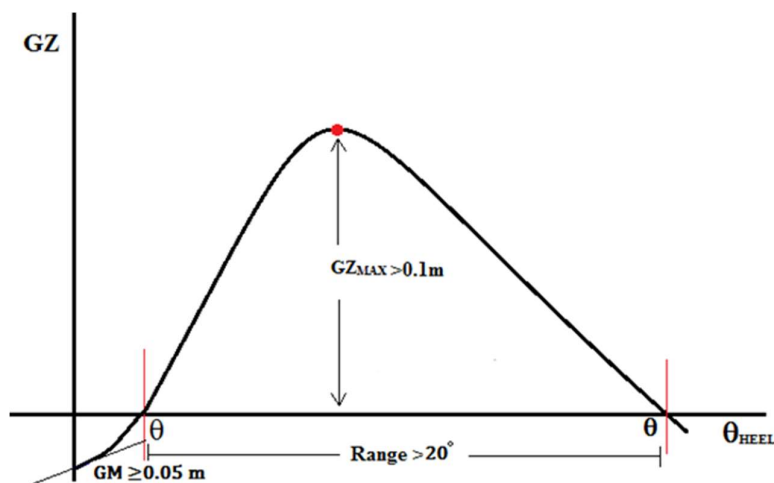
Ako bi bilo koje oštećenje manjih razmjera od onih navedenih u prethodnim točkama može uzrokovati teže uvjete u pogledu poprečnog nagiba ili smanjenja metacentarske visine, takvo oštećenje treba uzeti u obzir prilikom proračuna.

##### 3.1.1.2 Kriteriji stabiliteta po SOLAS-u za jedan odjeljak

**Tablica 1 Deterministički parametri**

Traženi parametri:	Vrijednosti za parametre:
Minimalni GM	Minimalni $GM$ mora biti barem 0.05 m
Raspon stabiliteta	Raspon pozitivnog $GZ$ mora biti barem $15^\circ$
Maksimum $GZ$ -a	Mora biti barem 0.1 m
Nagib broda	Mora biti manji od $7^\circ$
Površina ispod $GZ$	Mora biti veća od 0.015 m/rad

Navedeni kriteriji se mogu prikazati na dijagramu poluge stabiliteta kao na slici 2.



Slika 2. Deterministički kriteriji [3]

### 3.2 Probabilistička metoda

Probabilistička metode se temelji na statističkim podacima o tome što se događa sa brodom nakon što dođe do oštećenja. Analiziraju se vrste oštećenja, položaj oštećenja, smjer i brzina kretanja broda neposredno prije sudara, da li je brod potonuo ili preživio, kakvi su vremenski uvjeti i stanjemora. Na temelju prikupljenih podataka od IMO organizacije se zaključuje da se najveći dio oštećenja odnosi na pramčani dio broda te je stoga potrebno posvetiti veću pažnju pregrađivanju prostora na pramčanom dijelu broda.

Probabilistička metoda pokazuje da na preživljavanje brodova nakon oštećenja utječu brojni faktori, kao što su:

- Pozicija oštećenja
- Veličina oštećenja
- Naplavljenost
- Stanje krcanja broda
- Utjecaj vjetrova i valova.

Proračun probabilističkom metodom se temelji na vjerojatnosti preživljavanja broda nakon oštećenja. Procjena preživljavanja broda ovisi o brojnim faktorima i neizvjesnostima poput situacije gdje može biti naplavljen jedan odjeljak ili više njih, stanju mora za vrijeme nesreće, gazu i stabilitetu neoštećenog broda, naplavljenosti potopljenih odjeljaka kao i vrsti tereta koju brod prevozi. U konačnici, cijeli proračun se svodi na određivanje indeksa pregrađivanja  $A$ . Izračunati indeks  $A$  se uspoređuje sa indeksom  $R$  propisanim od strane IMO-a. Da bi brod zadovoljio kriterij pregrađivanja indeks  $A$  mora biti veći ili jednak od indeksa  $R$ . [2]

### 3.2.1 Zahtijevani indeks pregrađivanja $R$

Formula za zahtijevani indeks  $R$  za putničke brodove utvrđena je kroz rad projekta HARDER.[4] Izračuni su provedeni na odabranim brodova i na temelju rezultata predložena je formula za zahtijevani indeks. Formula za  $R$  varira prema tri kategorije, putničke brodove, brodove za prijevoz tereta veće od 100 m i brodove za prijevoz tereta između 80 i 100 m. Za putničke brodove, indeks varira prema dužini podjele i koliko putnika brod može primiti. Treba napomenuti da je  $L_s$  različit za probabilistički i deterministički proračun. [3]

U slučaju putničkih brodova:

**Tablica 2 Iznos indeksa pregrađivanja  $R$**

$N < 400$	$R = 0.722$
-----------	-------------

$N$  = Ukupan broj ljudi na brodu

### 3.2.2 Dobiveni (postignuti) indeks pregrađivanja $A$

Dobiveni ili postignuti indeks pregrađivanja  $A$  izražava vjerojatnost preživljavanja broda nakon oštećenja trupa, a prema najnovije usklađenim pravilima je dan slijedećim izrazom:

$$A = \sum p_i \cdot s_i \cdot v_i > 0.9R, \text{ za putničke brodove} \quad (5)$$

$p$  – vjerojatnost da će samo jedan odjeljak ili grupa odjeljaka koji se razmatraju biti naplavljeni

$v$  – vjerojatnost da odjeljak iznad horizontalne pregrade ostane čitav

$s$  – vjerojatnost preživljavanja nakon naplavlivanja jednog ili grupe odjeljaka koji se razmatraju

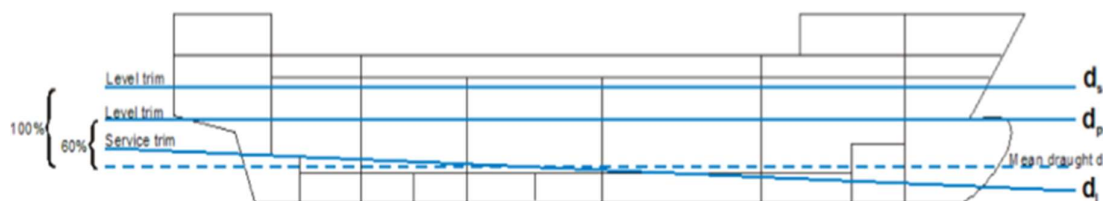
$i$  – predstavlja razmatrani odjeljak ili grupu odjeljaka

Da bi se dobila što točnija vrijednost indeksa  $A$ , proračun se vrši za tri različita stanja krcanja broda opisana u nastavku te prikazana na slici.:

$d_s$  – najveći gaz broda ( potpuno nakrcani brod )

$d_p$  - brod na gazu od 60% najvećeg gaza broda  $d_s$  ( djelomično nakrcani brod )

$d_l$  – brod na lakoj vodnoj liniji sa 10% zaliha ( prazan brod )



Slika 3 Prikaz različitih stanja krcanja [2]

Konačni indeks  $A$  se dobije kao suma svih parcijalnih indeksa  $A_s$ ,  $A_p$  i  $A_l$  kojima su dodijeljene težinske vrijednosti izračunate na gazovima  $d_s$ ,  $d_p$  i  $d_l$ . [1]

Za trgovačke brodove se pretpostavlja da 40% vremena plovidbe plove potpuno nakrcani, 40% vremena djelomično nakrcani te 20% vremena da je brod prazan pa stoga slijedi izraz za proračun konačnog indeksa pregrađivanja  $A$  :

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l > R \quad (6)$$

Da bi izračunali indeks  $A$  potrebno je brod podijeliti na određeni broj zona u uzdužnom, poprečnom i vertikalnom smjeru. Na projektantu je da odredi broj zona na brodu uz uvjet da duljina za nepropusnu podjelu broda  $L_s$  određuje krajnje granice broda u uzdužnom smjeru. Kako bi se postigla što veća sigurnost, cilj je dobiti što veći indeks  $A$  te je stoga vrlo važno obratiti pažnju na podjelu prostora jer svaki zasebni prostor kao i kombinacija sa susjednim prostorima utječe na vrijednosti indeksa  $A$ . Veći broj zona nam daje veći indeks  $A$ , međutim broj zona bi trebao biti ograničen do određene mjere kako bi se vrijeme proračuna održalo na prihvatljivoj razini.

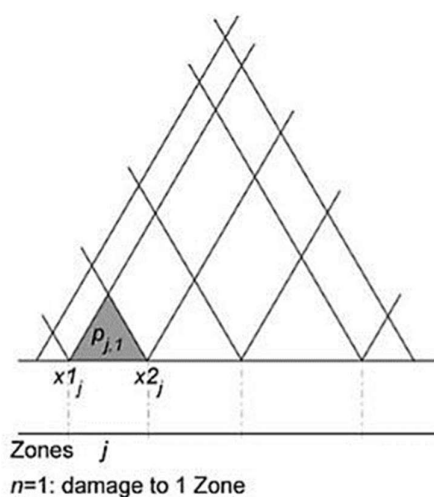


### 3.2.3 Faktor $p_i$

Faktor  $p_i$  je vjerojatnost da će se pretrpjeti određena šteta. Faktor  $p_i$  ovisi o rasporedu vodonepropusnih pregrada i podjeli razmatranog broda na zone, uzima u obzir uzdužni i poprečni opseg oštećenja, a izračunava se prema izrazima i slikama danim u nastavku:

#### 3.2.3.1 Za slučaj oštećenja jedne zone

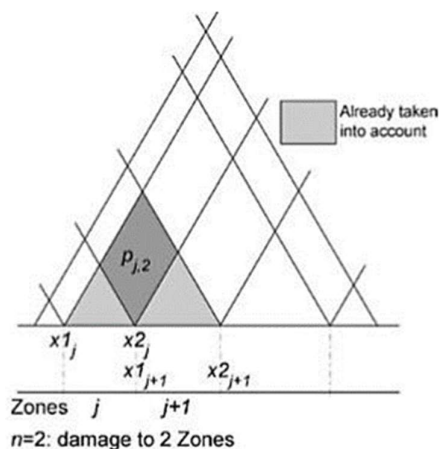
$$p_i = p(x_{1j}, x_{2j}) \cdot [r(x_{1j}, x_{2j}, bk) - r(x_{1j}, x_{2j}, bk-1)] \quad (7)$$



Slika 4 Prikaz teorijskog trokuta oštećenja jedne zone [2]

## 3.2.3.2 Za slučaj oštećenja dvije susjedne zone

$$\begin{aligned}
 p_i = & p(x_{1j}, x_{2j}) \cdot [r(x_{1j}, x_{2j}, bk) - r(x_{1j}, x_{2j}, bk-1)] - \\
 & p(x_{1j}, x_{2j}) \cdot [r(x_{1j}, x_{2j}, bk) - r(x_{1j}, x_{2j}, bk-1)] - \\
 & p(x_{1j+1}, x_{2j+1}) \cdot [r(x_{1j+1}, x_{2j+1}, bk) - r(x_{1j+1}, x_{2j+1}, bk-1)]
 \end{aligned} \tag{8}$$



Slika 5 Prikaz teoretskog trokuta oštećenja dvije zone [2]

$$r(x_1, x_2, b_0) = 0$$

$j$  – broj oštećene zone gledajući od krmenog dijela broda

$k$  – broj uzdužnih pregrada koje sprječavaju prodor u poprečnom smjeru, gledajući od oplata broda na boku ( $k = 0$ ) prema sredini broda.

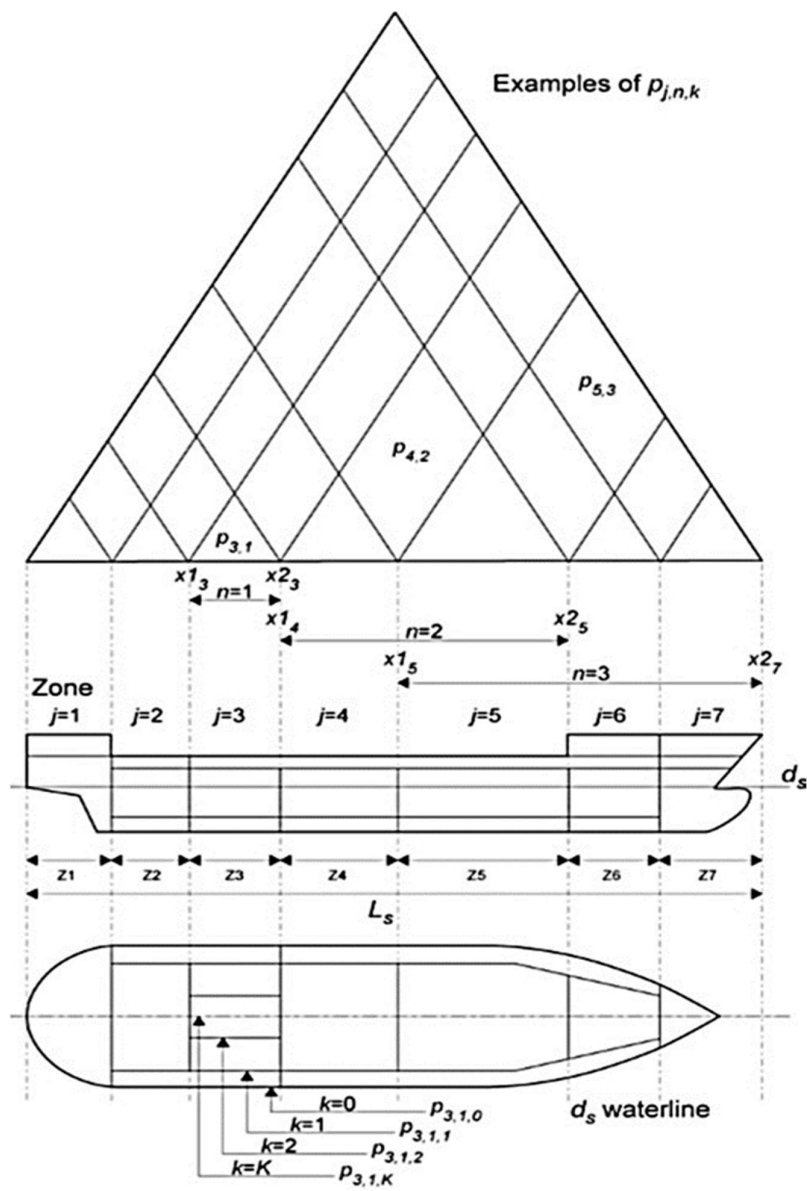
$x_1$  – udaljenost od početka duljine  $L_s$  gledajući s krme do krmene pregrade oštećene zone

$x_2$  – udaljenost od početka duljine  $L_s$  gledajući s krme do pramčane pregrade oštećene zone

$b$  – poprečna udaljenost u metrima mjerena od oplata do uzdužne pregrade na najvećem gazu, te ne smije prelaziti  $B/2$ .

$p(x_1, x_2)$  – koeficijent, ovisan o bez dimenzijskoj vrijednosti duljine  $J$ .

$r(x_1, x_2, b)$  – redukcijski faktor koji obuhvaća poprečnu štetu, [3].



Slika 6 Prikaz podjele broda na zone i njihovo označavanje [2]

### 3.2.4 Faktor $s_i$

Faktor  $s_i$  je poznat kao čimbenik preživljavanja jer predstavlja vjerojatnost preživljavanja naplavljenog broda uključujući jedan ili skupinu odjeljaka. Ovaj faktor je prilično složen za izračun zbog velikog broja razmatranja u regulaciji. Ovaj faktor se određuje za svaki slučaj naplave jednog ili više odjeljaka. U nastavku su navedena pravila i izrazi za određivanje faktora  $s_i$ : [1]

$$s_i = \text{minimum}[s_{\text{intemediate},i}, (S_{\text{final},i} \cdot S_{\text{mom},i})] \quad (9)$$

$S_{\text{final},i}$  je vjerojatnost preživljavanja u konačnoj fazi naplave.

$$S_{\text{final}} = K * \left[ \frac{GZ_{\text{max}}}{0.12} * \frac{\text{Range}^{\frac{1}{4}}}{16} \right] \quad (10)$$

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{\text{max}} - \theta_e}{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}}} \quad (11)$$

$K = 0$  ako je  $\theta_e \geq \theta_{\text{max}}$ ,  $K = 1$  ako je  $\theta_e \leq \theta_{\text{min}}$

$\theta_e$  – poprečni kut nagiba broda u ravnotežnom stanju za bilo koje stanje naplave

$\text{Range}$  – raspon pozitivnih poluga stabiliteta  $GZ$ ,  $GZ = \theta_v - \theta_e$

$GZ_{\text{max}}$  – maksimalna pozitivna poluga stabiliteta  $GZ$

$\theta_{\text{min}}$  – minimalni kut nagiba broda, za putničke brodove  $7^\circ$

$\theta_{\text{max}}$  – maksimalni kut nagiba broda, za putničke brodove  $15^\circ$

$K$  se temelji na dobivenom kutu nagiba. Ova se vrijednost primjenjuje kako bi se postigli prihvatljivi kutovi nagiba za različite vrste brodova.  $S_i$  će biti 0 ako brod nagne više od 15 stupnjeva za putničke brodove. Projektant mora biti oprezan pri raspoređivanju vodonepropusnih pregrada kako bi se izbjeglo dobivanje većih kutova nagiba od  $\theta_{\text{max}}$ . To je zato što bi u takvi slučajevi ne bi doprinijeli postignutom indeksu. (IMO, 2006a) Kao što se vidi iz zahtjeva za determinističku stabilnost, postoji mnogo sličnosti.  $GZ_{\text{max}}$  i  $\text{Range}$  se koriste za oba izračuna, ali na različit način. Kako bi se izbjeglo prekomjerno naginjanje, projektanti često isključuju uzdužne pregrade u dvostrukom dnu kako bi dobili simetrična oštećenja.[3]

$S_{intermediate,i}$  se samo računa za putničke brodove i računa se na sličan način kao i  $S_{final,i}$ .

$$S_{intermediate} = K * \left[ \frac{GZ_{max}}{0.05} * \frac{Range}{7} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (12)$$

$Range$  – ne unositi preko  $7^\circ$

$GZ_{max}$  – ne unositi preko 0.05m

Ako kut nagiba prijeđe  $15^\circ$ ,  $S_{intermediate,i}=0$

$S_{mom,i}$  je vjerojatnost preživljavanja maksimalnog momenta nagibanja vjetra, gibanja putnika ili spuštanja spasilačkih čamaca.  $S_{mom,i}$  se računa samo za putničke brodove i ne može imati veću vrijednost od 1.

$$S_{mom,i} = \frac{(GZ_{max} - 0.04) * Displacement}{M_{heel}} \quad (13)$$

$$M_{heel} = \max \{ M_{passenger}, M_{wind}, M_{survivalcraft} \} \quad (14)$$

$M_{passenger}$  je moment uzrokovan gibanjem putnika na jednu stranu broda i računa se prema dolje navedenoj formuli. Pretpostavljena masa putnika je 75 kg, a težište putnika se postavlja na  $0.45*B$  poprečno.

$$M_{passengers} = (0.075 * N_p) * (0.45 * B) \quad (15)$$

$N_p$  – maksimalni dozvoljeni broj putnika

$B$  – širina broda

Moment zbog utjecaja vjetra se računa na sljedeći način:

$$M_{wind} = (P * A * Z) / 9.806 \quad (16)$$

$P=120$  N/m<sup>2</sup>

$A$ = projicirana površina naleta vjetra

$Z$ =udaljenost od centra  $A$  do  $T/2$

$T$ =gaz

$M_{survivalcraft}$  je maksimalni pretpostavljeni moment nagibanja zbog spuštanja potpuno napunjenog čamaca za preživljavanje. Kada se izračunaju ova tri momenta, odabiremo maksimalni te ga koristimo kao  $M_{heel}$  za računanje  $S_{mom,i}$ , [3].

### 3.2.5 Faktor $v_i$

U slučaju bilo kakvih horizontalnih vodonepropusnih pregrada postavljenih iznad vodne linije, vrijednost faktora  $s_i$  za donji prostor ili prostore se mora pomnožiti sa redukcijskim faktorom  $v_i$ . Ovaj faktor predstavlja vjerojatnost da se razmatrani prostori iznad horizontalne pregrade broda neće naplaviti, a ukoliko se ti prostori naplave smanjiti će se stabilitet broda. Posljedica toga je promjena istisnine broda kao i krivulje poluge stabiliteta  $GZ$ . Faktor  $v_i$  se određuje prema slijedećem izrazu,[1].

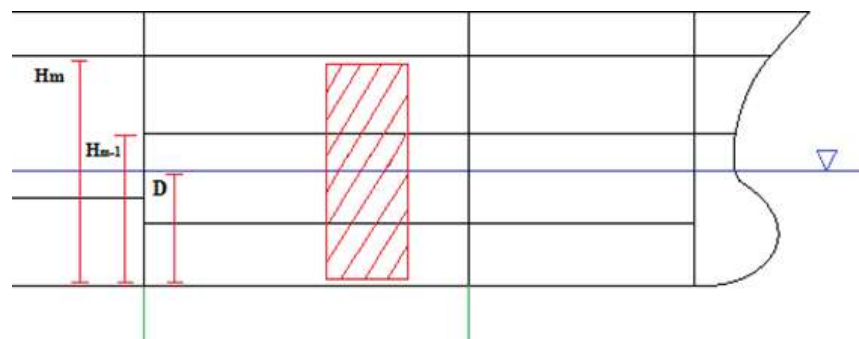
$$V_i = v(H_{m,d}) - v(H_{(m-1),d}) \quad (17)$$

$H_m$  – najmanja visina do prve horizontalne pregrade iznad vodne linije, računate od osnove. Horizontalna pregrada mora ograničavati vertikalno naplavlivanje i biti unutar uzdužnog raspona štete.

$H_{m-1}$  – najmanja visina do (m-1) horizontalne pregrade iznad vodne linije, računate od osnove. Horizontalna pregrada mora ograničavati vertikalno naplavlivanje i biti unutar uzdužnog raspona štete.

$m$  – označava svaku horizontalnu pregradu gledajući od vodne linije prema gore  
 $d$ -gaz

[3]

Slika 7 Objašnjenje za  $H_m$ Tablica 3 Izrazi za određivanje vrijednosti  $v$ 

Ako je $(H-d) \leq 7.8$	Ako je $(H-d) > 7.8$
$v(H, d) = 0.8 \frac{(H - d)}{7.8}$	$V(H, d) = 0.8 + 0.2 \frac{(H - d) - 7.8}{4.7}$

### 3.2.6 Naplavljenost

Naplavljivanje je prodor vode u brodske prostore. U svakom prostoru broda se nalazi nekakva oprema kao što su pogonski stroj, cjevovodi, ventilacija, namještaj itd. Budući da oprema zauzima prostor logično je zaključiti da volumen prodrle vode neće biti jednak kao i volumen same prostorije. Kako bi odredili točan volumen koji voda može naplaviti, potrebno je pomnožiti volumen prostorije sa koeficijentom naplavljenosti.

Koeficijent naplavljenosti je omjer volumena prodrle vode i volumena naplavljenog prostora. Iznos koeficijenta naplavljenosti ovisi o vrsti i namjeni prostora te je njegova vrijednost uvijek manja od 1.

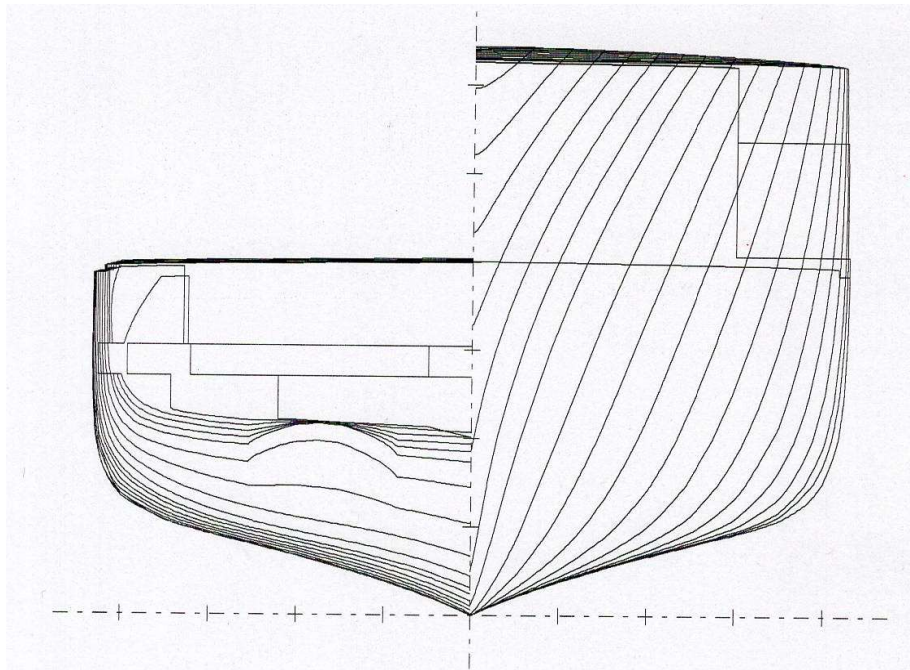
**Tablica 4 Koeficijenti naplavljenosti putničkog broda**

Odjeljak	Koeficijent naplavljenosti
Krmeni stroj	0.85
Strojarnica	0.85
Prostor za posadu	0.95
Putnici R26/R43	0.85
Putnici R43/R63	0.82
Putnici R63/R78	0.95
Pramčani pik	0.95

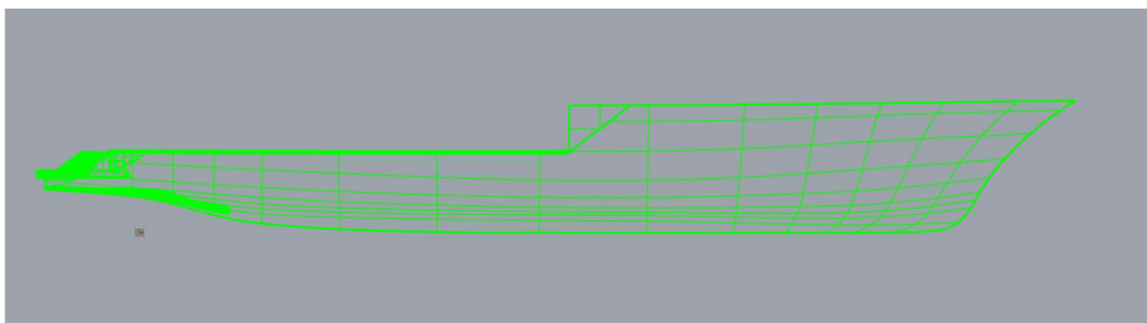
## 4 Forma za proračun stabiliteta i opći podaci o brodu

### 4.1 Forma broda

Stabilitet forme izračunat je uz doprinos trupa te nadgrađa na pramčanom djelu broda zatim uzimajući u obzir krmenu platformu, stepenice, krmeni štitnik te oblogu glavne palube.

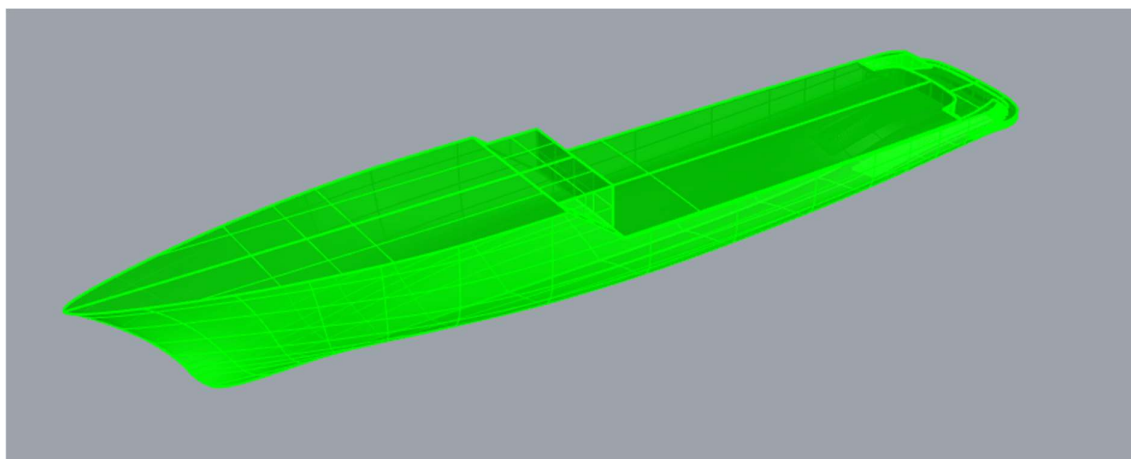


Slika 8 Skica rebara



Slika 9 Bokoert





Slika 10 Prostorni prikaz forme

#### 4.2 Opći podaci o brodu

Osnovna namjena broda je prijevoz putnika na višednevnim putovanjima-nautički turizam u području plovidbe 6.

Ovaj proračun napravljen je za prijevoz 14 članova posade i 36 putnika na temelju karakteristika praznog opremljenog broda dobivenih pokusom nagiba

Glavne dimenzije broda su:

Duljina preko svega $L_{oa}$ .....	51.92 m
Duljina između okomica $L_{pp}$ .....	41.50 m
Širina $B$ .....	8.63 m
Visina .....	3.83 m

Jedini otvor koji nije opremljen vremenski nepropusnim sredstvima za zatvaranje i čijim urom dolazi do progresivnog naplavljivanja prostora ispod palube je ventilacijski otvor za dobavu zraka u strojarnicu.

Koordinate točke na donjem rubu okvira ventilacijskog otvora:

Udaljenost od krmene okomice .....x =4.26m

Udaljenost od osnovke.....z =5.50m

Udaljenost od centralne linije. ....y =2.90m

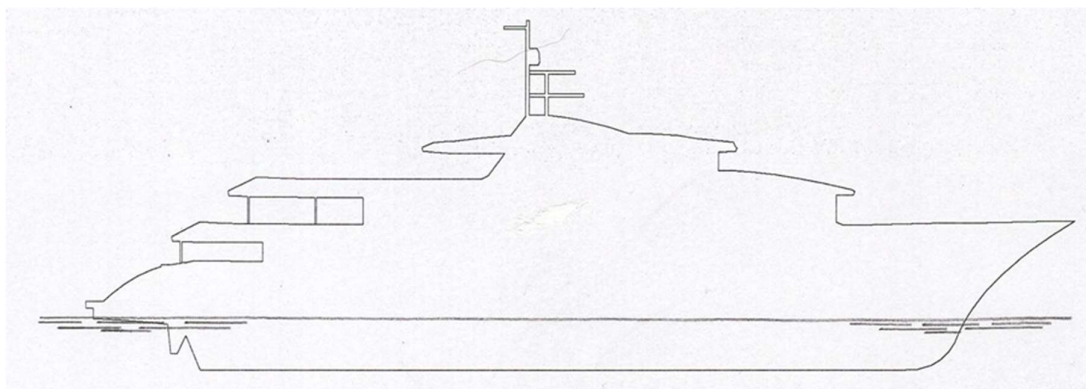
### 4.3 Kriterij vremenskih prilika

Kriterij vremenskih uvjeta izračunat je za pritisak vjetra od  $18,0 \text{ kg/m}^2$  izložene bočne površine što odgovara području plovidbe 6. U svrhu provjere donjih rezultata navode se sljedeće vrijednosti za stanje krcanja broda u dolasku sa 36 putnika i 10% zaliha:

Bočna površina broda izložena vjetru  $A=297.7 \text{ m}^2$

Težište izložene površine iznad osnovka  $Z_A=6.298 \text{ m}$

Površina centralne kobilice  $A_k=31.8\text{m}^2$



Slika 11 Prikaz površine izložene vjetru

## 5 Proračun stabiliteta putničkog broda M/B „Alfa Mario“ u neoštećenom stanju

### 5.1 Proračun stabiliteta u neoštećenom stanju

#### 5.1.1 Propisana stanja krcanja

U sljedećim tablicama se nalaze propisana stanja krcanja, rasporedi tekućina u tankovima te raspored putnika za putnički brod u neoštećenom stanju.

**Tablica 5 Propisana stanja krcanja**

Putnici raspoređeni simetrično	Putnici pokraj bočne ograde
1.Odlazak s 36 putnika, 100% tankovi	1.Odlazak s 36 putnika, 100% tankovi
2.Putovanje s 36 putnika, 50% tankovi	2.Putovanje s 36 putnika, 50% tankovi
3.Dolazak s 36 putnika, 10% tankovi	3.Dolazak s 36 putnika, 10% tankovi

**Tablica 6 Raspored tekućina u tankovima u odlasku – 100%**

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
4Tk vode 3L	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	-0.874	0.794
5Tk vode 3D	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	0.874	0.794
6Tk goriva D	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	-3	3
6Tk goriva L	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	3	3
8Tk otp. ulja	100%	1.346	1.341	1.496	1.49	6.013	0	0.941
9Tk crn/siv 1L	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	-0.862	0.864
10Tk crn/siv 1D	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	0.862	0.864
11Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	-3.584	3.201
12Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	3.584	3.201

**Tablica 7 Raspored tekućine u tankovima na putovanju – 50%**

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
4Tk vode 3L	50%	14.739	7.355	14.739	7.355	17.321	-0.748	0.557
5Tk vode 3D	50%	14.739	7.355	14.739	7.355	17.321	0.748	0.557
6Tk goriva D	50%	6.731	3.366	7.919	3.96	1.998	-3	2.6
6Tk goriva L	50%	6.731	3.366	7.919	3.96	1.998	3	2.6
8Tk otp. ulja	50%	1.346	0.67	1.496	0.745	6.025	0	0.782
9Tk crn/siv 1L	50%	5.277	2.632	5.123	2.555	9.907	-0.724	0.661
10Tk crn/siv 1D	50%	5.277	2.632	5.123	2.555	9.907	0.724	0.661
11Tk crn/siv 2L	50%	4.141	2.071	4.06	2.03	6.254	-3.582	2.902
12Tk crn/siv 2L	50%	4.141	2.071	4.06	2.03	6.254	3.582	2.902

**Tablica 8 Raspored tekućine u tankovima u dolasku – 10%**

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
4Tk vode 3L	10%	14.739	1.471	14.739	1.471	17.428	-0.316	0.269
5Tk vode 3D	10%	14.739	1.471	14.739	1.471	17.428	0.316	0.269
6Tk goriva D	10%	6.731	0.673	7.919	0.792	1.989	-2.999	2.28
6Tk goriva L	10%	6.731	0.673	7.919	0.792	1.989	2.999	2.28
8Tk otp. ulja	10%	1.346	0.134	1.496	0.149	6.071	0	0.6
9Tk crn/siv 1L	10%	5.277	0.526	5.123	0.511	10.161	-0.306	0.402
10Tk crn/siv 1D	10%	5.277	0.526	5.123	0.511	10.161	0.306	0.402
11Tk crn/siv 2L	10%	4.141	0.414	4.06	0.406	6.245	-3.578	2.661
12Tk crn/siv 2L	10%	4.141	0.414	4.06	0.406	6.245	3.578	2.661

**Tablica 9 Putnici raspoređeni simetrično**

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35	12.83	0	7.25
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35	12.83	0	7.25
Prtljaga	1	0.54	0.54	22.07	0	3.5

**Tablica 10 Putnici pokraj bočne ograde**

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Suncana pal 18 L	1	1.35	1.35	12.83	3.85	9.58
Suncana pal 18 D	1	1.35	1.35	12.83	3.85	9.58
Prtljaga	1	0.54	0.54	22.07	0	3.5

### 5.1.2 Proračun stabiliteta za propisana stanja krcanja

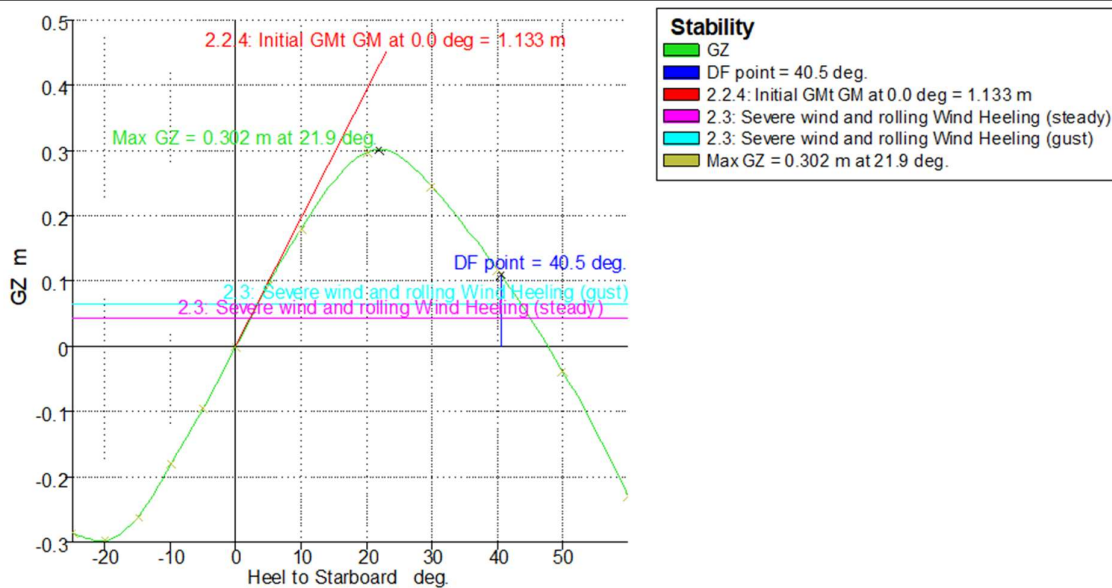
U sljedećim poglavljima su prikazana stanja krcanja i rezultati simulacije velikih kutova nagiba.

#### 5.1.2.1 Brod sa 36 putnika, tankovi 100%; Putnici raspoređeni simetrično

U sljedećim tablicama prikazana su stanja krcanja te rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod sa 36 putnika raspoređenih simetrično i 100% ispunjenim tankovima.

**Tablica 11 Stanje krcanja 1**

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Lightship	1	452.56	452.56			17.659	0	4.426
Posada	1	1.05	1.05			16.5	0	7.25
Hrana i pice	1	0.4	0.4			22.72	0	7.3
Jacuzzi	1	0.8	0.8			7.67	0	9.2
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Prtljaga	1	0.54	0.54			22.07	0	3.5
Kruti Balast	1	13	13			9.74	0	0.61
1Tk Balast 1	100%	7.845	7.84	7.845	7.84	29.978	0	0.796
2Tk Balast 2L	100%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.986	-0.873	0.786
3Tk Balast 2D	100%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.986	0.873	0.786
4Tk vode 3L	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	-0.874	0.794
5Tk vode 3D	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	0.874	0.794
6Tk goriva D	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	-3	3
6Tk goriva L	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	3	3
8Tk otp. ulja	100%	1.346	1.341	1.496	1.49	6.013	0	0.941
9Tk crn/siv 1L	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	-0.862	0.864
10Tk crn/siv 1D	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	0.862	0.864
11Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	-3.584	3.201
12Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	3.584	3.201
Total Loadcase			566.402	97.532	97.408	17.202	0	3.843
FS correction								0.038
VCG fluid								3.881



Slika 12 Dijagram poluge stabiliteta 1

Tablica 12 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 1

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.095	0.181	0.298	0.245	0.117	-0.038	-0.229
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.2398	0.9357	3.4243	6.2742	8.103	8.5257	7.2128
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	2.693	2.691	2.672	2.612	2.487	2.206	1.698	0.902
Gaz na AP [m]	2.804	2.803	2.813	2.833	2.928	3.105	3.387	3.851
Cp	0.68	0.68	0.681	0.689	0.687	0.67	0.649	0.638
Cb	0.499	0.5	0.503	0.501	0.436	0.389	0.403	0.406
LCB [m]	17.193	17.197	17.196	17.192	17.182	17.165	17.144	17.123
LCF [m]	15.057	15.444	15.918	17.364	18.907	20.176	21.039	21.603
Trim [°]	0.1534	0.154	0.1948	0.3054	0.6091	1.2419	2.33	4.0654

Tablica 13 IMO kriteriji 1

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Površina od 0° do 30°	3.1513	m stupnjeva	6.2742	Prolaz
Površina od 0° do 40°	5.1566	m stupnjeva	8.103	Prolaz
Površina od 30° do 40°	1.7189	m stupnjeva	1.8288	Prolaz
$GZ_{max}$ pri 30° ili više	0.2	m	0.245	Prolaz
Kut nagiba kod $GZ_{max}$	25	stupanj	21.9	Pad
Početna $GMt$	0.15	m	1.133	Prolaz

Kriterij kuta nagiba broda kod  $GZ_{max}$  prolazi zbog sljedećeg kriterija koji se primjenjuje za putnički brod ove dužine

$$\text{Površina ispod } GZ_{max} \text{ req} = 0,055 + 0,001(30^\circ - \theta_{max}) = 0,055 + 0,001(30^\circ - 21,9) = 0,0631 < 0,0656$$

Tablica 14 IMO kriteriji vremenskih prilika

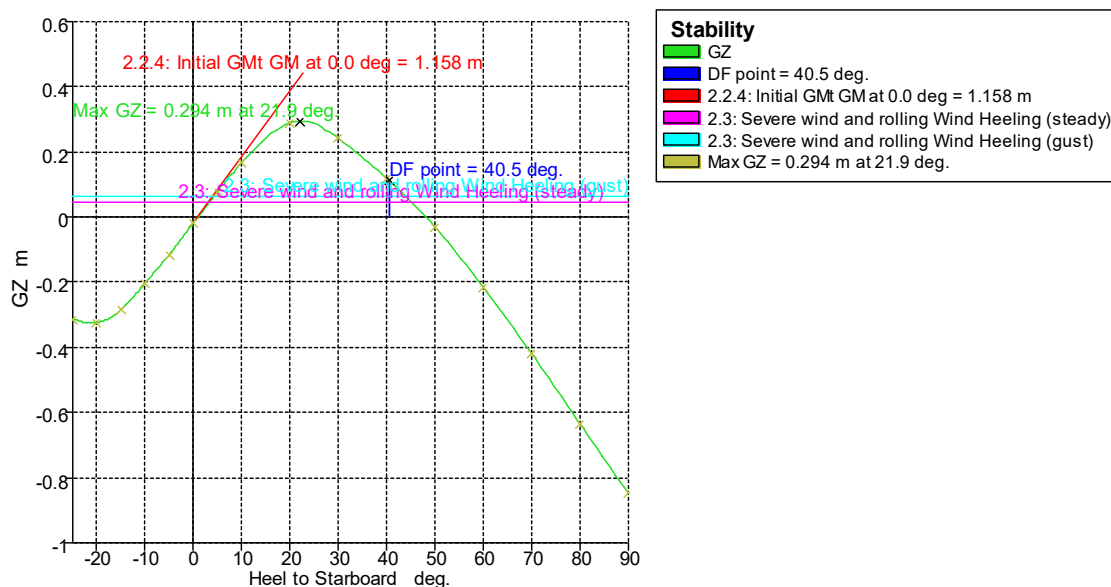
2.3: Severe wind and rolling				Pass
Wind arm = $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$				
constant: a =	0.99966			
wind pressure: P =	180 Pa			
area centroid height (from zero point): h =	6 m			
total area: A =	297 m <sup>2</sup>			
H = vert. centre of projected lat. u'water area	1.489 m			
cosine power: n =	0			
gust ratio	1.5			
Area2 integrated to the lesser of				
2.3: IMO roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	16.9 (-14.6)	deg	-14.6	
Area 1 upper integration range, to the lesser of:				
spec. heel angle	50	deg		
first flooding angle of the DownfloodingPoints	40.5	deg	40.5	
angle of vanishing stability (with gust heel arm)	43.6	deg		
Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:				
angle of max. GZ	21.9	deg	21.9	
Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgeImmersionAngle			
Criteria:				Pass
Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16	deg	2.3	Pass
Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80	%	16.08	Pass
Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100	%	187.65	Pass
Intermediate values				
Heel arm amplitude		m	0.043	
Equilibrium angle with steady heel arm		deg	2.3	
Equilibrium angle with gust heel arm		deg	3.4	
Deck edge immersion angle		deg	14	
Area1 (under GZ), from 3.4 to 40.5 deg.		m.rad	0.1405	
Area1 (under HA), from 3.4 to 40.5 deg.		m.rad	0.0422	
Area1, from 3.4 to 40.5 deg.		m.rad	0.0983	
Area2 (under GZ), from -14.6 to 3.4 deg.		m.rad	-0.032	
Area2 (under HA), from -14.6 to 3.4 deg.		m.rad	0.0204	
Area2, from -14.6 to 3.4 deg.		m.rad	0.0524	

## 5.1.2.2 Brod sa 36 putnika, tankovi 100%; Putnici raspoređeni bočno

U sljedećim tablicama prikazana su stanja krcanja te rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod sa 36 putnika raspoređenih bočno i 100% ispunjenim tankovima.

Tablica 15 Stanje krcanja 4

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Lightship	1	452.56	452.56			17.659	0	4.426
Posada	1	1.05	1.05			16.5	0	7.25
Hrana i pice	1	0.4	0.4			22.72	0	7.3
Jacuzzi	1	0.8	0.8			7.67	0	9.2
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35			12.83	3.85	9.58
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35			12.83	3.85	9.58
Prtljaga	1	0.54	0.54			22.07	0	3.5
Kruti Balast	1	13	13			9.74	0	0.61
1Tk Balast 1	100%	7.845	7.84	7.845	7.84	29.978	0	0.796
2Tk Balast 2L	100%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.986	-0.873	0.786
3Tk Balast 2D	100%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.986	0.873	0.786
4Tk vode 3L	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	-0.874	0.794
5Tk vode 3D	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	0.874	0.794
6Tk goriva D	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	-3	3
6Tk goriva L	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	3	3
8Tk otp. ulja	100%	1.346	1.341	1.496	1.49	6.013	0	0.941
9Tk crn/siv 1L	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	-0.862	0.864
10Tk crn/siv 1D	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	0.862	0.864
11Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	-3.584	3.201
12Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	3.584	3.201
Total Loadcase			566.403	97.532	97.409	17.202	0.018	3.854
FS correction								0.002
VCG fluid								3.856



Slika 13 Dijagram poluge stabiliteta 4



Tablica 16 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 4

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	-0.018	0.079	0.167	0.289	0.242	0.119	-0.03	-0.217
Površina ispod GZ [m.rad]	-0.0172	0.1536	0.7749	3.1513	5.9408	7.7632	8.233	7.0227
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	2.693	2.691	2.672	2.612	2.487	2.206	1.699	0.903
Gaz na AP [m]	2.804	2.803	2.813	2.833	2.928	3.105	3.386	3.85
Cp	0.68	0.68	0.681	0.689	0.687	0.67	0.649	0.638
Cb	0.499	0.5	0.503	0.501	0.436	0.389	0.403	0.406
LCB [m]	17.193	17.197	17.196	17.192	17.182	17.166	17.145	17.125
LCF [m]	15.057	15.444	15.918	17.364	18.907	20.176	21.039	21.603
Trim [°]	0.1533	0.1539	0.1947	0.3052	0.6088	1.2411	2.3286	4.0628

Tablica 17 IMO kriteriji 4

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Površina od 0° do 30°	3.1513	m stupnjeva	5.9408	Prolaz
Površina od 0° do 40°	5.1566	m stupnjeva	7.7632	Prolaz
Površina od 30° do 40°	1.7189	m stupnjeva	1.8225	Prolaz
$GZ_{max}$ pri 30° ili više	0.2	m	0.242	Prolaz
Kut nagiba kod $GZ_{max}$	25	stupanj	21.9	Pad
Početna $GMt$	0.15	m	1.158	Prolaz

Kriterij kuta nagiba broda kod  $GZ_{max}$  prolazi zbog sljedećeg kriterija koji se primjenjuje za putnički brod ove dužine

$$\text{Površina } GZ_{max} \text{ req} = 0,055 + 0,001(30^\circ - \theta_{max}) = 0,055 + 0,001(30^\circ - 21,9) = 0,0631 < 0,0696$$

Tablica 18 IMO kriteriji vremenskih prilika

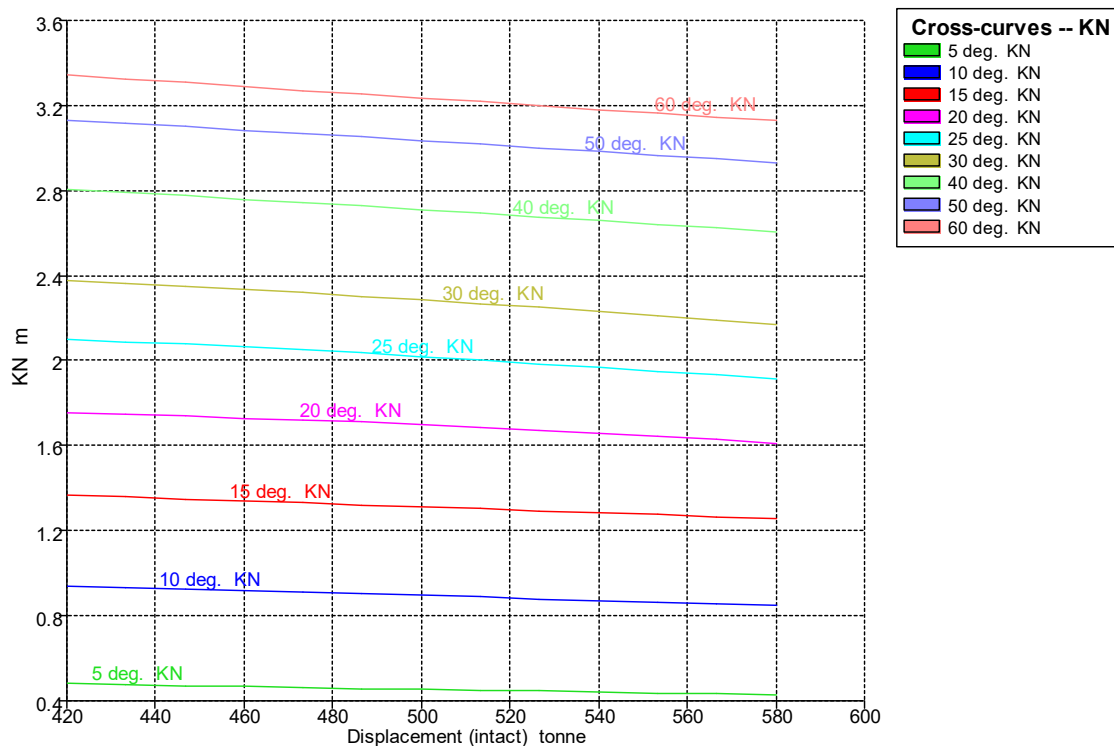
2.3: Severe wind and rolling				Pass
Wind arm = $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$				
constant: a =	0.99966			
wind pressure: P =	180 Pa			
area centroid height (from zero point): h =	6 m			
total area: A =	297 m <sup>2</sup>			
H = vert. centre of projected lat. u'water area	1.489 m			
cosine power: n =	0			
gust ratio	1.5			
Area2 integrated to the lesser of				
2.3: IMO roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	16.8 (-13.7) deg		-13.7	
Area 1 upper integration range, to the lesser of:				
spec. heel angle	50 deg			
first flooding angle of the DownfloodingPoints	40.5 deg		40.5	
angle of vanishing stability (with gust heel arm)	43.9 deg			
Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:				
angle of max. GZ	21.9 deg		21.9	
Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgeImmersionAngle			
Criteria:				Pass
Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16 deg		3.1	Pass
Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80 %		22.43	Pass
Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100 %		174.74	Pass
Intermediate values				
Heel arm amplitude		m	0.043	
Equilibrium angle with steady heel arm		deg	3.1	
Equilibrium angle with gust heel arm		deg	4.3	
Deck edge immersion angle		deg	14	
Area1 (under GZ), from 3.4 to 40.5 deg.		m.rad	0.1348	
Area1 (under HA), from 3.4 to 40.5 deg.		m.rad	0.0412	
Area1, from 3.4 to 40.5 deg.		m.rad	0.0936	
Area2 (under GZ), from -14.6 to 3.4 deg.		m.rad	-0.0332	
Area2 (under HA), from -14.6 to 3.4 deg.		m.rad	0.0204	
Area2, from -14.6 to 3.4 deg.		m.rad	0.0536	

5.1.2.3 KN krivulje

U sljedećoj tablici su prikazane vrijednosti KN krivulja pri određenim kutovima nagiba za zadane istisnine.

Tablica 19 Tablica KN krivulje

Istisnina [t]	KN 5°	KN 10°	KN 15°	KN 20°	KN 25°	KN 30°	KN 40°	KN 50°	KN 60°
420	0.48	0.937	1.366	1.757	2.099	2.377	2.804	3.13	3.346
433.3	0.475	0.931	1.358	1.748	2.089	2.363	2.79	3.115	3.327
446.7	0.471	0.924	1.349	1.739	2.077	2.349	2.775	3.099	3.308
460	0.466	0.918	1.34	1.73	2.064	2.334	2.76	3.084	3.29
473.3	0.462	0.911	1.331	1.721	2.05	2.318	2.744	3.068	3.271
486.7	0.457	0.904	1.322	1.711	2.035	2.302	2.728	3.052	3.253
500	0.453	0.896	1.313	1.699	2.019	2.285	2.711	3.035	3.235
513.3	0.449	0.888	1.303	1.687	2.003	2.267	2.694	3.019	3.217
526.7	0.445	0.88	1.294	1.674	1.986	2.249	2.677	3.002	3.199
540	0.442	0.872	1.285	1.659	1.968	2.231	2.659	2.985	3.181
553.3	0.438	0.864	1.276	1.644	1.95	2.212	2.641	2.967	3.163
566.7	0.434	0.856	1.266	1.628	1.931	2.193	2.623	2.949	3.145
580	0.43	0.849	1.256	1.611	1.912	2.173	2.604	2.931	3.127



Slika 14 KN krivulje

## 6 Proračun stabilneta putničkog broda M/B „Alfa Mario“ u oštećenom stanju determinističkom metodom

### 6.1 Granična linija urona

Za m/b “Alfa Mario” pregradna paluba je ujedno i glavna paluba koja je izvedena kontinuirano do kaštela na pramcu pa je granična linija urona linija paralelna sa linijom glavne palube postavljena 76 mm ispod linije palube.

Tablica 20 Očitavanja za graničnu liniju urona

	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	0	4.159	3.816
2	1.5	4.19	3.808
3	4.536	4.246	3.793
4	7.204	4.283	3.784
5	11.596	4.312	3.776
6	16.311	4.313	3.775
7	20.699	4.292	3.782
8	24.413	4.235	6.144
9	27.584	4.174	6.159
10	32.103	3.846	6.194
11	37.427	2.934	6.254
12	41.358	1.926	6.308
13	43.89	1.081	6.342
14	45.537	0.196	6.364

### 6.2 Duljina vodonepropusnih odjeljaka

M/b “Alfa Mario” pregrađena je sa 6 poprečnih vodonepropusnih pregrada u 7 vodonepropusnih odjeljaka na sljedeći način:

Odjeljak br.1- Korm. stroj ; Zrc-R3;  $x_1 = -4,62$  m;  $x_2 = 1,5$  m;  $l = 6,12$  m

Odjeljak br.2- Prostor strojarnice ; R3-R15;  $x_1 = 1,5$  m;  $x_2 = 7,5$  m;  $l = 6,0$  m

Odjeljak br.3- Prostor posade ; R15-R26;  $x_1 = 7,5$  m;  $x_2 = 13,0$  m;  $l = 5,5$  m

Odjeljak br.4- Prostor putnika ; R26-R43;  $x_1 = 13,0$  m;  $x_2 = 21,5$  m;  $l = 8,5$  m

Odjeljak br.5- Prostor putnika; R43-R63;  $x_1 = 21,5$  m;  $x_2 = 31,5$  m;  $l = 10,0$  m

Odjeljak br.6- Prostor putnika; R63-R78;  $x_1 = 31,5$  m;  $x_2 = 39,0$  m;  $l = 7,5$  m

Odjeljak br.7- Pramčani pik; R78-Statva;  $x_1 = 39,0$  m;  $x_2 = 41,57$  m;  $l = 2,57$  m

### **6.3 Propisana stanja krcanja**

Za proračun stabiliteta boda u oštećenom stanju determinističkom metodom propisana su tri stanja krcanja:

1. Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak
2. Brod s 36 putnika, 50% tankovi- putovanje
3. Brod s 36 putnika, 10% tankovi- dolazak

### **6.1 Proračun stabiliteta u oštećenom stanju**

Proračun se provodi potapanjem svakog odjeljka zasebno te se provodi analiza kako novonastalo stanje utječe na karakteristike broda bitne za stabilitet. Kao što je gore navedeno, proračun je proveden za sva tri stanja krcanja. S obzirom da stanje odlaska ima najveće opterećenje na brod, ono će se jedino prikazati u ovom radu. Stabilitet u oštećenom stanju je ocijenjen prema pravilima i propisima SOLAS, II-1/8, čiji kriteriji nalažu da brod u slučaju oštećenja mora zadovoljiti pravila navedena u poglavlju 3.1.1.2. U sljedećim tablicama je prikazano stanja krcanja i oštećenja koja će se analizirati.

Tablica 21 Stanje krcanja – Odlazak

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Lightship	1	452.56	452.56			17.659	0	4.426
Posada	1	1.05	1.05			16.5	0	7.25
Hrana i pice	1	0.4	0.4			22.72	0	7.3
Jacuzzi	1	0.8	0.8			7.67	0	9.2
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Prtljaga	1	0.54	0.54			22.07	0	3.5
Kruti Balast	1	13	13			9.74	0	0.61
1Tk Balast 1	100%	7.845	7.84	7.845	7.84	29.978	0	0.796
2Tk Balast 2L	100%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.986	-0.873	0.786
3Tk Balast 2D	100%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.986	0.873	0.786
4Tk vode 3L	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	-0.874	0.794
5Tk vode 3D	100%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.298	0.874	0.794
6Tk goriva D	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	-3	3
6Tk goriva L	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	3	3
8Tk otp. ulja	100%	1.346	1.341	1.496	1.49	6.013	0	0.941
9Tk crn/siv 1L	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	-0.862	0.864
10Tk crn/siv 1D	100%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.831	0.862	0.864
11Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	-3.584	3.201
12Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	3.584	3.201
Total Loadcase			566.402	97.532	97.408	17.202	0	3.843
FS correction								0.038
VCG fluid								3.881

Tablica 22 Stanja oštećenja

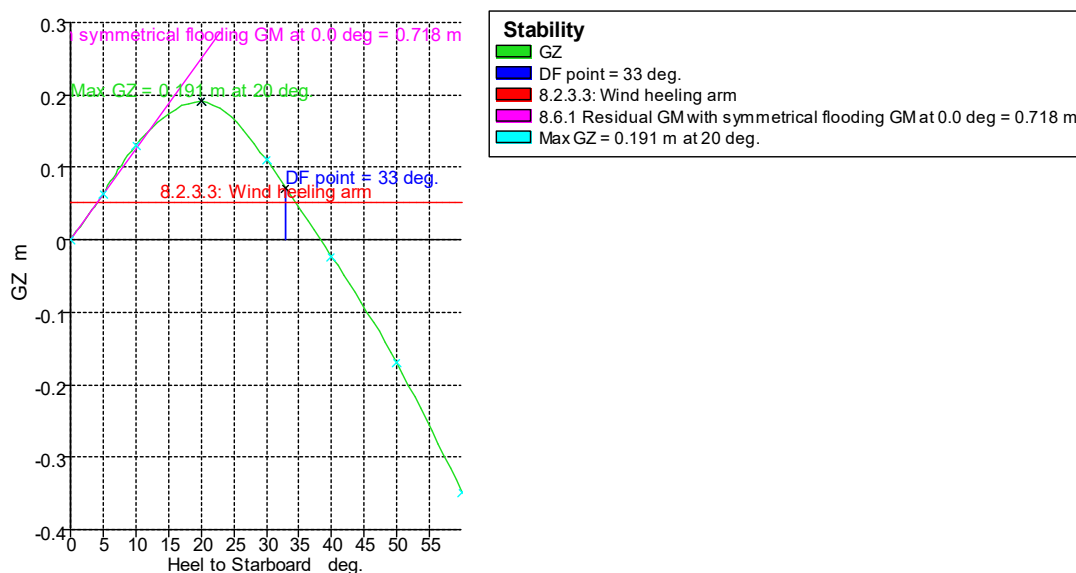
Naziv stanja oštećenja	Naplavljeni odjeljak
Stanje oštećenja 1	Kormilarski stroj
Stanje oštećenja 2	Prostor strojarnice ; R3-R15
Stanje oštećenja 3	Prostor posade ; R15-R26
Stanje oštećenja 4	Prostor putnika ; R26-R43
Stanje oštećenja 5	Prostor putnika; R43-R63
Stanje oštećenja 6	Prostor putnika; R63-R78
Stanje oštećenja 7	Pramčani pik

**6.1.1 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 1**

U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom kormilarskog stroja.

**Tablica 23 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 1**

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.063	0.131	0.191	0.11	-0.023	-0.17	-0.348
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.1572	0.6422	2.4038	3.977	4.4361	3.4931	0.9259
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	2.355	2.352	2.334	2.219	1.974	1.541	0.825	-0.309
Gaz na AP [m]	3.222	3.222	3.231	3.359	3.689	4.176	4.885	6.015
Cp	0.656	0.643	0.638	0.64	0.651	0.652	0.632	0.633
Cb	0.492	0.483	0.48	0.469	0.397	0.344	0.333	0.321
LCB [m]	17.158	17.163	17.159	17.148	17.126	17.101	17.069	17.044
LCF [m]	17.623	17.592	17.592	18.801	20.044	21.067	21.774	22.088
Trim [°]	1.1966	1.2012	1.2385	1.5739	2.3664	3.6333	5.5869	8.6642

**Slika 15 Dijagram poluge stabiliteta 1****Tablica 24 Kriteriji SOLAS-a 1**

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	33	Prolaz
Maksimalni iznos poluge stabiliteta	0.1	m	0.191	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	0.718	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0475	Prolaz

Tablica 25 Karakteristične točke 1

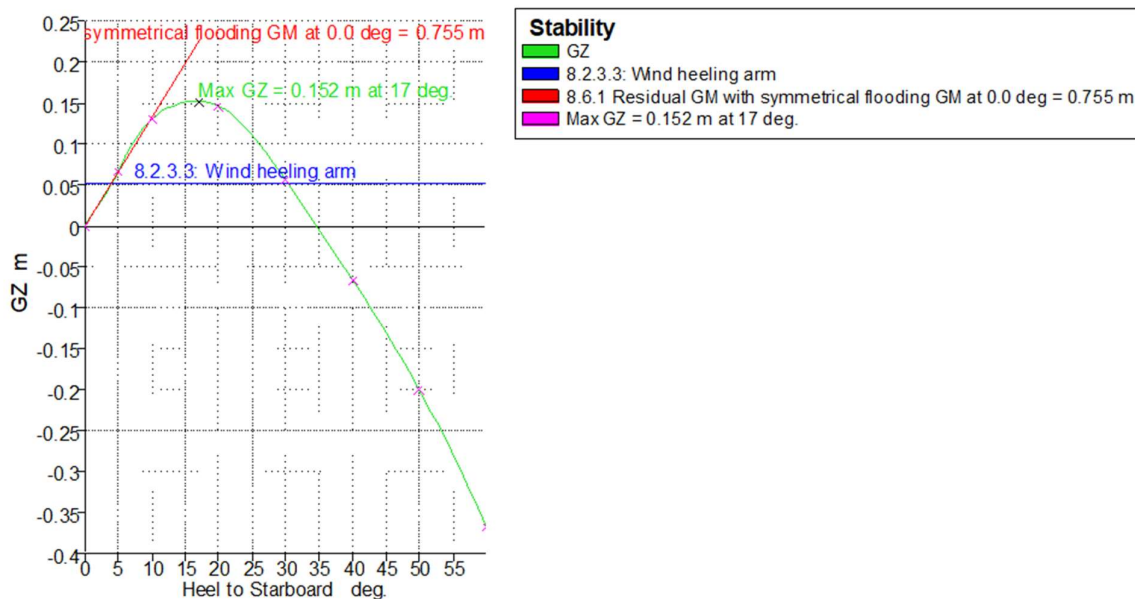
Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	8.4	0.627
Rub palube	9.4	0.703
Točka naplavljivanja	33	2.367

### 6.1.2 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 2

U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom prostora strojarnice

Tablica 26 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 2

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.067	0.131	0.146	0.056	-0.066	-0.2	-0.367
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.1652	0.6652	2.1945	3.2421	3.1989	1.8928	-0.9202
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	2.361	2.355	2.32	2.146	1.848	1.363	0.594	-0.619
Gaz na AP [m]	3.403	3.406	3.44	3.688	4.153	4.798	5.707	7.148
Cp	0.623	0.619	0.603	0.599	0.606	0.616	0.6	0.61
Cb	0.474	0.471	0.461	0.434	0.364	0.316	0.299	0.294
LCB [m]	17.153	17.153	17.151	17.132	17.103	17.074	17.043	17.018
LCF [m]	18.019	17.97	18.244	19.414	20.56	21.53	22.142	22.32
Trim [°]	1.4385	1.4506	1.5459	2.1274	3.1799	4.7315	7.0241	10.6003



Slika 16 Dijagram poluge stabiliteta 2



Tablica 27 Kriteriji SOLAS-a 2

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	34.6	Prolaz
Maksimalni iznos poluge stabiliteta	0.1	m	0.152	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	0.755	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0423	Prolaz

Tablica 28 Karakteristične točke 2

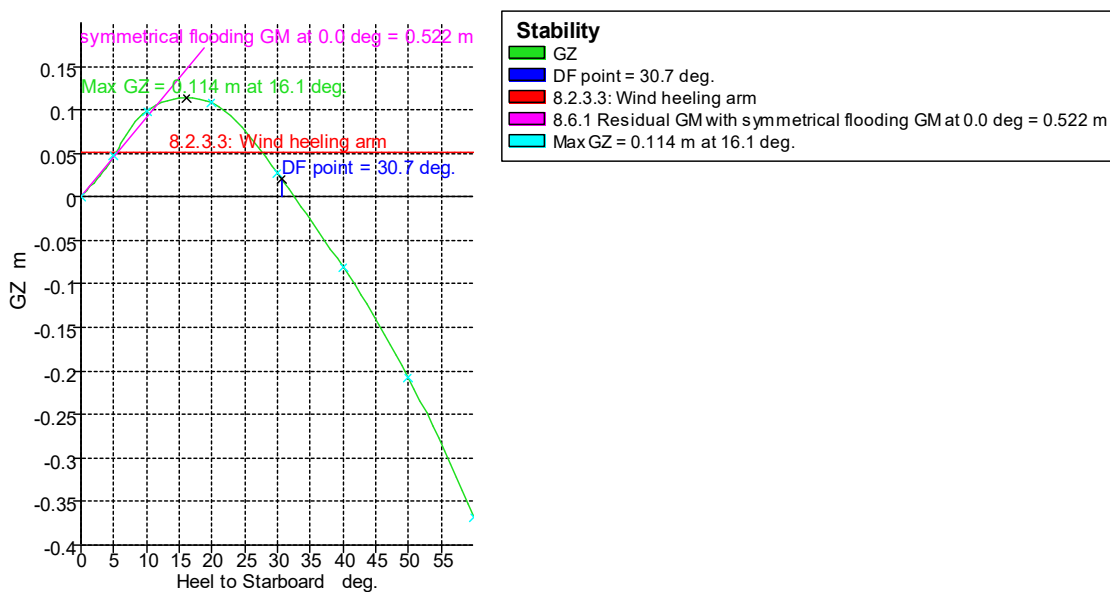
Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	6.1	0.455
Rub palube	7	0.531
Točka naplavlivanja	29.2	2.204

### 6.1.3 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 3

U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom prostora posade.

Tablica 29 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 3

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.047	0.099	0.108	0.027	-0.081	-0.207	-0.367
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.1148	0.4831	1.6445	2.3538	2.0928	0.686	-2.1699
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	2.639	2.632	2.603	2.466	2.22	1.806	1.154	0.153
Gaz na AP [m]	3.304	3.309	3.336	3.54	3.932	4.473	5.237	6.44
Cp	0.613	0.606	0.594	0.596	0.611	0.598	0.582	0.576
Cb	0.466	0.462	0.454	0.433	0.367	0.327	0.322	0.309
LCB [m]	17.172	17.171	17.17	17.154	17.129	17.105	17.078	17.057
LCF [m]	17.9	17.755	17.755	19.006	20.375	21.507	22.229	22.63
Trim [°]	0.918	0.9342	1.0119	1.4822	2.3623	3.6764	5.6185	8.6141



Slika 17 Dijagram poluge stabiliteta 3

Tablica 30 Karakteristične točke 3

Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	7.1	0.534
Rub palube	8	0.61
Točka naplavljivanja	30.7	2.264

Tablica 31 Kriteriji SOLAS-a 3

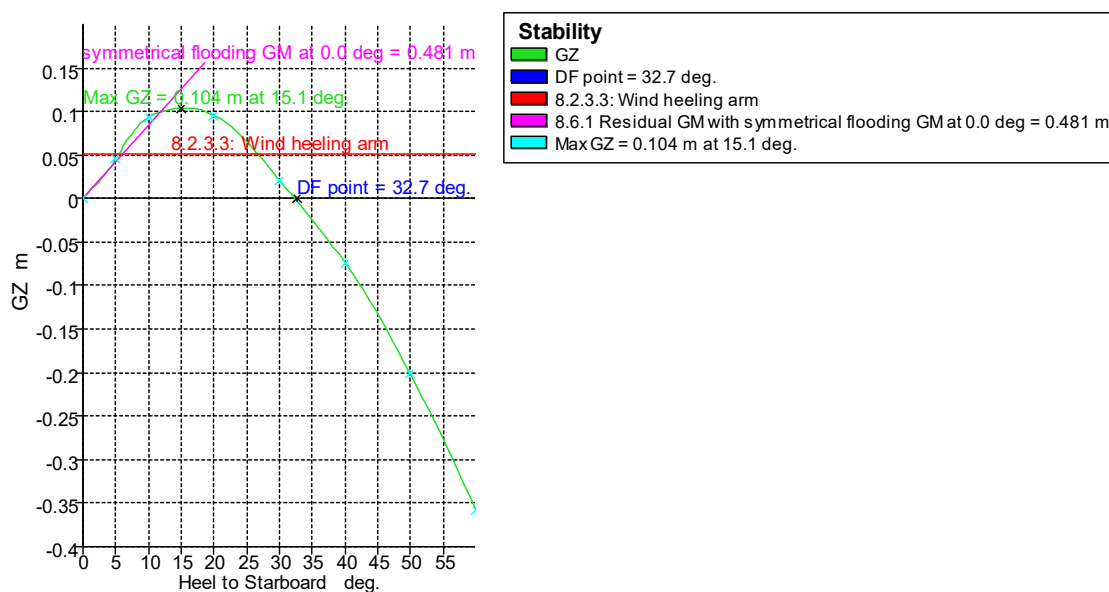
Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	30.7	Prolaz
Maksimalni iznos poluge stabiliteta	0.1	m	0.114	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	0.522	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0315	Prolaz

### 6.1.4 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 4

U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom prostora putnika 1.

**Tablica 32 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 4**

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.046	0.093	0.095	0.021	-0.074	-0.201	-0.358
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.1113	0.4643	1.5193	2.1321	1.8772	0.5431	-2.2418
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	3.196	3.182	3.154	3.042	2.829	2.469	1.939	1.171
Gaz na AP [m]	3.112	3.127	3.152	3.315	3.628	4.068	4.688	5.685
Cp	0.578	0.565	0.564	0.575	0.564	0.56	0.552	0.547
Cb	0.438	0.43	0.436	0.419	0.357	0.338	0.352	0.338
LCB [m]	17.204	17.207	17.206	17.191	17.17	17.147	17.123	17.103
LCF [m]	16.768	16.253	16.347	18.135	19.883	21.248	22.128	22.549
Trim [°]	-0.1158	-0.0765	-0.0023	0.3765	1.102	2.2069	3.7891	6.2079



**Slika 18 Dijagram poluge stabiliteta 4**

**Tablica 33 Karakteristične točke 4**

Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	8.2	0.628
Rub palube	9.2	0.704
Točka naplavljivanja	32.7	2.38

Tablica 34 Kriteriji SOLAS-a 4

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	32.4	Prolaz
Maksimalni iznos poluge stabiliteta	0.1	m	0.104	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	0.481	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0291	Prolaz

### 6.1.5 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 5

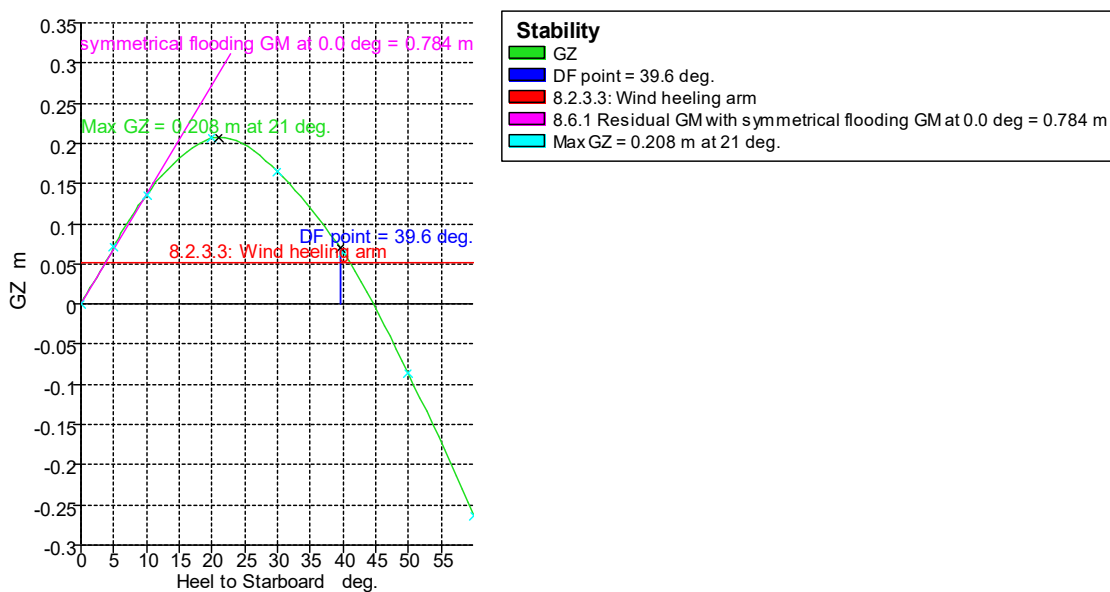
U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom prostora putnika 2.

Tablica 35 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 5

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.071	0.136	0.206	0.165	0.065	-0.086	-0.264
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.1785	0.6978	2.5314	4.4468	5.6324	5.5527	3.8239
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	3.668	3.702	3.723	3.694	3.544	3.234	2.811	2.265
Gaz na AP [m]	2.711	2.705	2.699	2.721	2.86	3.099	3.448	4.005
Cp	0.56	0.552	0.549	0.548	0.548	0.545	0.545	0.544
Cb	0.383	0.377	0.376	0.393	0.361	0.357	0.384	0.399
LCB [m]	17.245	17.247	17.247	17.248	17.233	17.211	17.185	17.164
LCF [m]	13.819	13.737	14.425	16.75	18.547	19.981	20.928	21.637
Trim [°]	-1.3214	-1.3754	-1.4136	-1.3428	-0.9433	-0.1873	0.8794	2.4016

Tablica 36 Karakteristične točke 5

Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	7.6	0.591
Rub palube	8.6	0.667
Točka naplavlivanja	39.6	2.69



Slika 19 Dijagram poluge stabiliteta 5

Tablica 37 Kriteriji SOLAS-a 5

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	39.6	Prolaz
Maksimalni iznos poluge stabiliteta	0.1	m	0.208	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	0.784	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0506	Prolaz

**6.1.6 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 6**

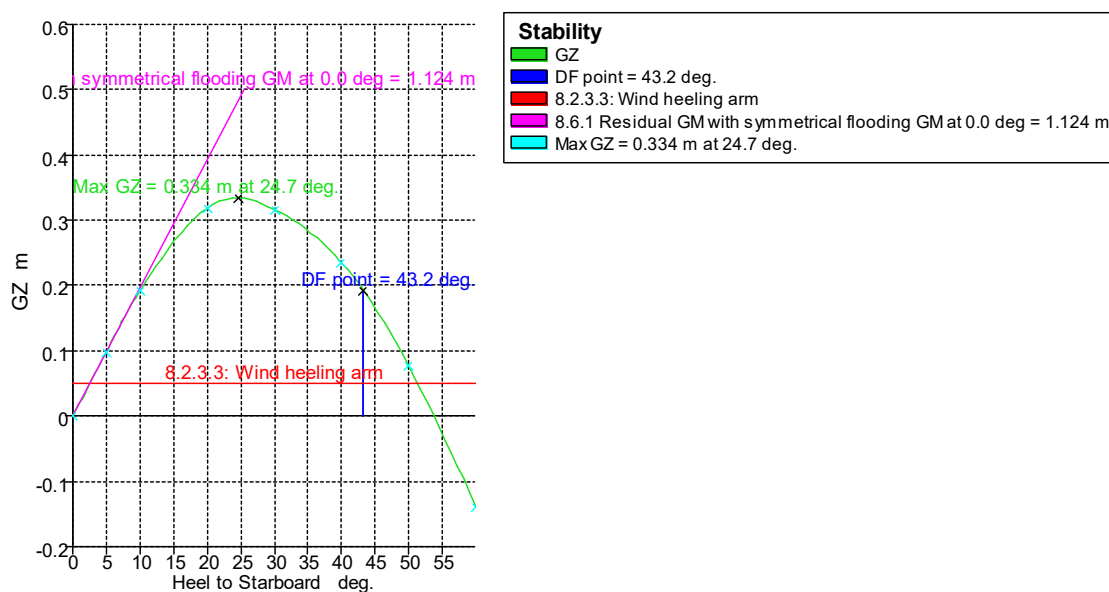
U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom prostora putnika 3.

**Tablica 38 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 6**

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.098	0.192	0.319	0.317	0.236	0.077	-0.138
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.2468	0.9772	3.6357	6.8958	9.7142	11.3396	11.0663
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	3.693	3.695	3.709	3.729	3.629	3.355	2.915	2.251
Gaz na AP [m]	2.548	2.543	2.52	2.461	2.51	2.653	2.898	3.314
Cp	0.574	0.574	0.57	0.569	0.567	0.562	0.564	0.57
Cb	0.382	0.382	0.38	0.394	0.376	0.368	0.399	0.418
LCB [m]	17.258	17.257	17.255	17.262	17.25	17.228	17.204	17.176
LCF [m]	13.9	13.96	14.455	16.393	18.122	19.355	19.856	20.248
Trim [°]	-1.5802	-1.59	-1.6414	-1.7491	-1.5454	-0.9703	-0.0226	1.4665

**Tablica 39 Karakteristične točke 6**

Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	8.8	0.66
Rub palube	9.8	0.736
Točka naplavlivanja	43.2	2.833



**Slika 20 Dijagram poluge stabiliteta 6**

Tablica 40 Kriteriji SOLAS-a 6

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	43.2	Prolaz
Maksimalni iznos oluge stabiliteta	0.1	m	0.334	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	1.124	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0744	Prolaz

### 6.1.7 Brod s 36 putnika, 100% tankovi- odlazak; Stanje oštećenja 7

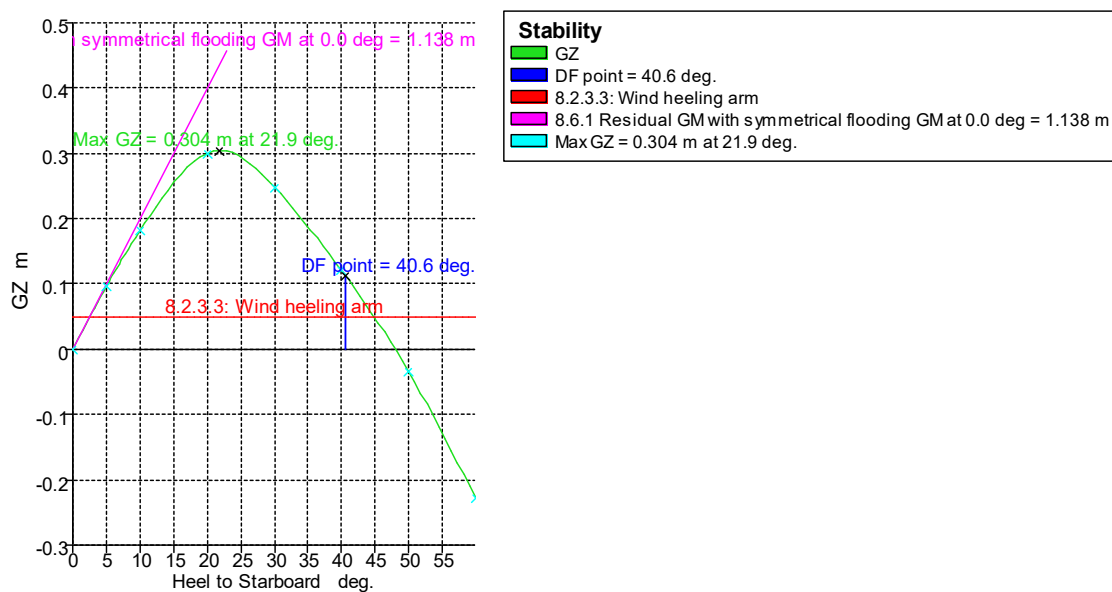
U sljedećim tablicama su prikazani rezultati simulacije velikih kutova nagiba za brod s 36 putnika, 100 % ispunjenim tankovima i naplavljenim odjeljkom pramčanog pika.

Tablica 41 Karakteristike broda pri velikim kutovima nagiba 7

Nagib [°]	0	5	10	20	30	40	50	60
GZ [m]	0	0.096	0.182	0.3	0.248	0.121	-0.035	-0.228
Površina ispod GZ [m.rad]	0	0.2431	0.9399	3.4869	6.3277	8.2077	8.6686	7.3808
Istisnina [t]	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4	566.4
Gaz na FP [m]	2.729	2.727	2.709	2.651	2.524	2.237	1.721	0.913
Gaz na AP [m]	2.793	2.791	2.8	2.817	2.912	3.09	3.375	3.845
Cp	0.676	0.677	0.677	0.686	0.683	0.668	0.647	0.637
Cb	0.497	0.498	0.501	0.499	0.434	0.388	0.403	0.406
LCB [m]	17.199	17.2	17.199	17.195	17.182	17.165	17.145	17.127
LCF [m]	14.924	15.281	15.778	17.226	18.751	20.025	20.905	21.514
Trim [°]	0.0873	0.0877	0.1259	0.2296	0.535	1.1774	2.2828	4.0417

Tablica 42 Karakteristične točke 7

Karakteristična točka	Kut urona [°]	Početno nadvođe m.°
Granična linija urona	13.1	1
Rub palube	14	1.076
Točka naplavljivanja	40.6	2.714



Slika 21 Dijagram poluge stabiliteta 7

Tablica 43 Kriteriji SOLAS-a 7

Kriterij	Iznos	Mjerna jedinica	Postignuta vrijednost	Status
Raspon pozitivnog stabiliteta	15	stupnjeva	40.6	Prolaz
Maksimalni iznos poluge stabiliteta	0.1	m	0.304	Prolaz
Metacentarska visina	0.05	m	1.138	Prolaz
Nagib broda u ravnotežnom stanju	7	stupnjeva	0	Prolaz
Površina ispod GZ krivulje	0.015	mrad	0.0707	Prolaz



## 7 Proračun stabiliteta putničkog broda M/B „Alfa Mario“ u oštećenom stanju probabilističkom metodom

Proračun stabiliteta probabilističkom metodom izvršen je na tri prethodno opisana stanja krcanja detaljnije opisana u poglavlju 3.2.2 te na slici 3. Proračun je proveden po pravilima SOLAS-a za probabilističku metodu. Brod je podijeljen poprečnim pregradama na 7 zona koje se poklapaju sa odjeljcima iz determinističke metoda računanja stabiliteta.

**Tablica 44 Uzdužni položaj zona**

Naziv	Krma [m]	Pramac [m]	Duljina [m]
Zona 1	-4.627	1.5	6.127
Zona 2	1.5	7.5	6
Zona 3	7.5	13	5.5
Zona 4	13	21.5	8.5
Zona 5	21.5	31.5	10
Zona 6	31.5	39	7.5
Zona 7	39	41.57	2.57

U vertikalnom smjeru, brod ima jednu nepropusnu palubu, koja definira visinu svake zone.

Uzdužnih pregrada brod nema. U nastavku je prikazan unos zahtijevanih podataka, stanja krcanja koja odgovaraju gazovima  $d_s$ ,  $d_p$  i  $d_l$  te rezultati probabilističkog proračuna za svako stanje krcanja.

Tablica 45 Unos podataka u program MaxSurf-Stability

Probabilistic damage		
Resolution -- MSC.421(98), MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)	
Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes	
Loadcases		
Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Putnici Simet. 100%	draft: 2.749 m
Partial subdivision draft Loadcase	Test	draft: 2.629 m
Light service draft Loadcase	Light ship	draft: 2.451 m
Vessel parameters		
Type -- Cargo or Passenger	Passenger	
Lifeboat capacity N_1		0
Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2		50
Subdivision length L_s		46.197 m
Aft terminal of L_s		-4.627 m
Fwd terminal of L_s		41.57 m
Mid L_s		18.471 m
Intact displacement at subdivision draft (Putnici Simet. 100%)		566.402 t
max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B		8.642 m
max. number of adjacent zones to consider		7
min. probability (p.r.v) of damage to consider >=		0.0001
max. trim angle to consider		40 deg
Limit longitudinal extent of damage? (l_max=60.000; J_max=0.30303)	Limit	
Limit vertical extent of damage?	Limit	
max. vertical extent of damage		15.249 m
Damaged side -- Starboard or Port	Starboard	
Zone 1 located at bow or stern?	Stern	
MSC.216(82) -- Required subdivision index		
Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_s + 2.5 N + 15225)$		0.67786
Reduction factor for R		1
Required subdivision index (applying reduction factor)		0.67786
Factor of R for required subdivision index for each loadcase		0.9
Required subdivision index for each loadcase		0.61007
Constants		
J_max -- MSC.216(82) formulation		0.30303
J_kn		0.15152
p_k		0.91667
l_max		60 m
L_star		260 m
Vessel specific calcs (zone independent)		
J_m_star		0.30303
J_k_star		0.15152
J_m		0.30303
J_k		0.15152
Probability distribution coefficients		
b_0		11
b_11		-65.34
b_12		11
b_21		-7.26
b_22		2.2

Tablica 46 Stanje krcanja za gaz  $d_s$ 

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Lightship	1	452.56	452.56			17.659	0	4.426
Posada	1	1.05	1.05			16.5	0	7.25
Hrana i pice	1	0.4	0.4			22.72	0	7.3
Jacuzzi	1	0.8	0.8			7.67	0	9.2
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Prtljaga	1	0.54	0.54			22.07	0	3.5
Kruti Balast	1	13	13			9.74	0	0.61
1Tk Balast 1	99.94%	7.845	7.84	7.845	7.84	29.979	0	0.796
2Tk Balast 2L	99.88%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.989	-0.873	0.786
3Tk Balast 2D	99.88%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.989	0.873	0.786
4Tk vode 3L	99.80%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.304	-0.874	0.794
5Tk vode 3D	99.80%	14.739	14.71	14.739	14.71	17.304	0.874	0.794
6Tk goriva D	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	-3	3
6Tk goriva L	100%	6.731	6.731	7.919	7.919	2	3	3
8Tk otp. ulja	99.63%	1.346	1.341	1.496	1.49	6.013	0	0.941
9Tk crn/siv 1L	99.74%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.835	-0.862	0.864
10Tk crn/siv 1D	99.74%	5.277	5.263	5.123	5.11	9.835	0.862	0.864
11Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	-3.584	3.201
12Tk crn/siv 2L	100%	4.141	4.141	4.06	4.06	6.255	3.584	3.201
Total Loadcase			566.402	97.532	97.408	17.203	0	3.843
FS correction								0.038
VCG fluid								3.881

Tablica 47 Stanje krcanja za gaz  $d_p$ 

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Lightship	1	452.56	452.56			17.659	0	4.426
Posada	1	1.05	1.05			16.5	0	7.25
Hrana i pice	0.5	0.4	0.2			22.72	0	7.3
Jacuzzi	1	0.8	0.8			7.67	0	9.2
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Prtljaga	1	0.54	0.54			22.07	0	3.5
Kruti Balast	1	13	13			9.74	0	0.61
1Tk Balast 1	99.94%	7.845	7.84	7.845	7.84	29.979	0	0.796
2Tk Balast 2L	99.88%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.989	-0.873	0.786
3Tk Balast 2D	99.88%	12.255	12.24	12.255	12.24	24.989	0.873	0.786
4Tk vode 3L	23%	14.739	3.39	14.739	3.39	17.439	-0.504	0.393
5Tk vode 3D	23%	14.739	3.39	14.739	3.39	17.439	0.504	0.393
6Tk goriva D	23%	6.731	1.548	7.919	1.821	2	-3	2.384
6Tk goriva L	23%	6.731	1.548	7.919	1.821	2	3	2.384
8Tk otp. ulja	23%	1.346	0.31	1.496	0.344	6.05	0	0.678
9Tk crn/siv 1L	23%	5.277	1.214	5.123	1.178	10.04	-0.483	0.515
10Tk crn/siv 1D	23%	5.277	1.214	5.123	1.178	10.04	0.483	0.515
11Tk crn/siv 2L	23%	4.141	0.953	4.06	0.934	6.256	-3.58	2.739
12Tk crn/siv 2L	23%	4.141	0.953	4.06	0.934	6.256	3.58	2.739
Total Loadcase			517.688	97.532	47.311	17.776	0	4.039
FS correction								0.042
VCG fluid								4.081

Tablica 48 Stanje krceanja za gaz  $d_l$ 

Stavka broda	Količina	Masa [t]	Ukupna masa [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Ukupni volumen [m <sup>3</sup> ]	X [m]	Y [m]	Z [m]
Lightship	1	452.56	452.56			17.659	0	4.426
Posada	1	1.05	1.05			16.5	0	7.25
Hrana i pice	1	0.4	0.4			22.72	0	7.3
Jacuzzi	1	0.8	0.8			7.67	0	9.2
Gornja pal 18 L	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Gornja pal 18 D	1	1.35	1.35			12.83	0	7.25
Prtljaga	1	0.54	0.54			22.07	0	3.5
Kruti Balast	1	13	13			9.74	0	0.61
1Tk Balast 1	0%	7.845	0	7.845	0	30.026	0	0
2Tk Balast 2L	0%	12.255	0	12.255	0	26.113	0	0
3Tk Balast 2D	0%	12.255	0	12.255	0	26.113	0	0
4Tk vode 3L	0%	14.739	0	14.739	0	21.312	0	0
5Tk vode 3D	0%	14.739	0	14.739	0	21.312	0	0
6Tk goriva D	0%	6.731	0	7.919	0	2.005	-2.996	2.2
6Tk goriva L	0%	6.731	0	7.919	0	2.005	2.996	2.2
8Tk otp. ulja	0%	1.346	0	1.496	0	6.494	0	0.4
9Tk crn/siv 1L	0%	5.277	0	5.123	0	11.974	0	0.093
10Tk crn/siv 1D	0%	5.277	0	5.123	0	11.974	0	0.093
11Tk crn/siv 2L	0%	4.141	0	4.06	0	6.256	-3.576	2.6
12Tk crn/siv 2L	0%	4.141	0	4.06	0	6.256	3.576	2.6
Total Loadcase			471.05	97.532	0	17.403	0	4.353
FS correction								0.003
VCG fluid								4.355

## 7.1 Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_s$

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati proračuna za potpuno nakrcani brod koji odgovara gazu  $d_s$ .

**Tablica 49** Rezultati proračuna za stanje krcanja  $d_s$

Oštećene zone	Oštećeni djelovi broda	$p_i$	$v$	$s_{inter.}$	$s_{final}$	$s_{moment}$	$s_{faktor}$	A faktor (p.r.v.s)	R	
Z1	6,7,13	0.101984	1	1	1	1	1	0.101984		
Z2	6,7,8,11,12,14	0.068918	1	1	0.863	0.569423	0.4914	0.033866		
Z3	9,10,15	0.059581	1	1	0.988	1	0.988	0.058866		
Z4	4,5,16	0.118695	1	1	1	1	1	0.118695		
Z5	2,3,17	0.149909	1	1	1	1	1	0.149909		
Z6	1,18	0.098377	1	1	1	1	1	0.098377		
Z7		19 0.035389	1	1	1	1	1	0.035389		
Z1,2	6,7,8,11,12,13,14	0.057975	1	0	0	0	0	0		
Z2,2	6,7,8,9,10,11,12,14,15	0.053286	1	0	0	0	0	0		
Z3,2	4,5,9,10,15,16	0.057434	1	0	0	0	0	0		
Z4,2	2,3,4,5,16,17	0.064514	1	1	1	1	0	0		
Z5,2	1,2,3,17,18	0.063186	1	1	1	1	0	0		
Z6,2	1,18,19	0.050916	1	1	1	1	1	0.050916		
Z1,3	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	0.006148	1	0	0	0	0	0		
Z2,3	4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16	0.007674	1	0	0	0	0	0		
Z3,3	2,3,4,5,9,10,15,16,17	0.002041	1	0	0	0	0	0		
Z4,3	1,2,3,4,5,16,17,18	0.000785	1	1	1	1	0	0		
Z5,3	1,2,3,17,18,19	0.002997	1	1	1	1	0	0		
Z1,4	4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	0.000192	1	0	0	0	0	0		
Postignuti parcijalni indeks As								0.648002	0.610074	Prolaz

## 7.2 Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_p$

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati proračuna za djelomično nakrcani brod koji odgovara gazu  $d_p$ .

**Tablica 50 Rezultati proračuna za stanje krcanja  $d_p$**

Oštećene zone	Oštećeni djelovi broda	$p_i$	$v$	$s_{inter.}$	$s_{final}$	$s_{moment}$	$s_{faktor}$	A faktor (p.r.v.s)	R	
Z1	6,7,13	0.101984	1	1	1	1	1	0.101984		
Z2	6,7,8,11,12,14	0.068918	1	1	0.9385	1	0.9385	0.06468		
Z3	9,10,15	0.059581	1	1	1	1	1	0.059581		
Z4	4,5,16	0.118695	1	1	1	1	1	0.118695		
Z5	2,3,17	0.149909	1	1	1	1	1	0.149909		
Z6	1,18	0.098377	1	1	1	1	1	0.098377		
Z7	19	0.035389	1	1	1	1	1	0.035389		
Z1,2	6,7,8,11,12,13,14	0.057975	1	0.447	0.2921	0	0	0		
Z2,2	6,7,8,9,10,11,12,14,15	0.053286	1	0	0	0	0	0		
Z3,2	4,5,9,10,15,16	0.057434	1	0	0	0	0	0		
Z4,2	2,3,4,5,16,17	0.064514	1	1	1	1	0	0		
Z5,2	1,2,3,17,18	0.063186	1	1	1	1	1	0.063186		
Z6,2	1,18,19	0.050916	1	1	1	1	1	0.050916		
Z1,3	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	0.006148	1	0	0	0	0	0		
Z2,3	4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16	0.007674	1	0	0	0	0	0		
Z3,3	2,3,4,5,9,10,15,16,17	0.002041	1	0	0	0	0	0		
Z4,3	1,2,3,4,5,16,17,18	0.000785	1	1	1	1	0	0		
Z5,3	1,2,3,17,18,19	0.002997	1	1	1	1	1	0.002997		
Z1,4	4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	0.000192	1	0	0	0	0	0		
Postignuti parcijalni indeks Ap								0.745714	0.610074	Prolaz

### 7.3 Rezultati proračuna za stanje krcanja $d_t$

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati proračuna za prazan brod koji odgovara gazu  $d_t$ .

**Tablica 51 Rezultati proračuna za stanje krcanja  $d_t$**

Oštećene zone	Oštećeni djelovi broda	$p_i$	$v$	$s_{inter.}$	$s_{final}$	$s_{moment}$	$s_{faktor}$	A faktor (p.r.v.s)	R	
Z1	6,7,13	0.101984	1	1	0.983	1	0.983	0.10025		
Z2	6,7,8,11,12,14	0.068918	1	1	0.8658	0.471717	0.4084	0.028146		
Z3	9,10,15	0.059581	1	1	1	1	1	0.059581		
Z4	4,5,16	0.118695	1	1	0.9812	1	0.9812	0.116464		
Z5	2,3,17	0.149909	1	1	1	1	1	0.149909		
Z6	1,18	0.098377	1	1	1	1	1	0.098377		
Z7	19	0.035389	1	1	1	1	1	0.035389		
Z1,2	6,7,8,11,12,13,14	0.057975	1	0.1481	0.0967	0	0	0		
Z2,2	6,7,8,9,10,11,12,14,15	0.053286	1	0	0	0	0	0		
Z3,2	4,5,9,10,15,16	0.057434	1	0	0	0	0	0		
Z4,2	2,3,4,5,16,17	0.064514	1	1	1	1	1	0.064514		
Z5,2	1,2,3,17,18	0.063186	1	1	1	1	1	0.063186		
Z6,2	1,18,19	0.050916	1	1	1	1	1	0.050916		
Z1,3	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	0.006148	1	0	0	0	0	0		
Z2,3	4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16	0.007674	1	0	0	0	0	0		
Z3,3	2,3,4,5,9,10,15,16,17	0.002041	1	0	0	0	0	0		
Z4,3	1,2,3,4,5,16,17,18	0.000785	1	1	1	1	0	0		
Z5,3	1,2,3,17,18,19	0.002997	1	1	1	1	1	0.002997		
Z1,4	4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	0.000192	1	0	0	0	0	0		
Postignuti parcijalni indeks AI								0.769729	0.610074	Prolaz

#### 7.4 Ukupni indeks pregrađivanja $A$

Iz rezultata prikazanih u prethodnim tablicama se vidi da parcijalni indeksi koji odgovaraju traženim stanjima krcanja postižu zahtijevane vrijednosti. Ukupni postignuti indeks pregrađivanja  $A$  iznosi:

**Tablica 52 Postignuti i traženi indeksi pregrađivanja**

$A$	$R$
0.711432	0.67786



## 8 ZAKLJUČAK

Probabilistička metoda je od 2022. godine postala obavezan dio proračuna stabiliteta za nove putničke brodove klase D koji plove po Jadranu. S obzirom na razvoj turizma i tendenciju rasta nautičke flote, cilj ovog rada je provjeriti da li postojeći način projektiranja mini kruzera može zadovoljiti kriterije probabilističke metode.

U ovom završnom radu izvršen je proračun stabiliteta putničkog broda u neoštećenom i oštećenom stanju determinističkom i probabilističkom metodom. Dobivena forma zadanog broda modelirana je u MaxSurf-Stability gdje su definirani svi takovi te nepropusni odjeljci. Nakon toga su unesena težišta svih masa koje se nalaze na brodu za vrijeme plovidbe. Na temelju prethodno definiranih stavki dobiveni su hidrostatski podatci broda za sva tražena stanja krcanja.

Sa svim prethodno dobivenim podacima izvršen je proračun u oštećenom i neoštećenom stanju za velike kutove nagiba. Proračun oštećenog stanja je proveden naplavlivanjem svakog odjeljka broda zasebno, te se pokazalo da brod zadovoljava kriterije determinističkog pristupa za sva stanja oštećenja.

Za provođenje probabilističke metode ,brod je podijeljen u 7 zona. Proračun je dao zadovoljavajuće rezultate prema propisima SOLAS-a, tj. postignuti indeks pregrađivanja  $A$  je veći od zahtijevanog indeksa pregrađivanja  $R$ , čime se zaključuje da je brod dovoljno pregrađen.

Na kraju se može zaključiti da je sigurnosti broda u oštećenom stanju određena brojem nepropusnih pregrada , odnosno veličinom nepropusnih odjeljaka. Međutim u obzir treba uzeti isplativost i mogućnost pregrađivanja broda ovisno o njegovoj namjeni. U slučaju putničkog broda pregrađivanje igra bitnu ulogu u veličini i dizajnu prostora za putnike, što na kraju utječe na kvalitetu usluge. Prevelik broj pregrada na putničkom brodu ovog tipa bi rezultirao neadekvatnom veličinom putničkih prostora. Stoga je potrebno razmotriti alternativne metode za postizanje zadovoljavajućih rezultata, kao što su ugrađivanje dvodna ili dvoboka na novogradnje.

---

**LITERATURA**

- [1] “2008 IS Code – International Code on Intact Stability, 2008.”  
<https://www.imorules.com/IS2008.html> (accessed Feb. 09, 2023).
- [2] T. Staničić, “Proračun stabiliteta u oštećenom stanju Panamax kontejnerskog broda koristeći Foran softverski paket,” info:eu-repo/semantics/masterThesis, University of Rijeka. Faculty of Engineering. Department of Naval Architecture and Ocean Engineering. Section of Ship Design, 2018. Accessed: Feb. 09, 2023. [Online]. Available: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:190:081014>
- [3] O. M. Djupvik, “Probabilistic Damage Stability - Maximizing the Attained Index by Analyzing the Effects of Changes in the Arrangement for Offshore Vessels,” Master thesis, NTNU, 2015. Accessed: Feb. 09, 2023. [Online]. Available: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2350929>
- [4] R. Tagg and C. Tuzcu, “A Performance-Based Assessment of the Survival of Damaged Ships: Final Outcome of the EU Research Project HARDER,” *Mar. Technol. SNAME News*, vol. 40, no. 04, pp. 288–295, Oct. 2003, doi: 10.5957/mtl.2003.40.4.288.