# Projekt broda za prijevoz žive stoke

**Andrišić, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2008**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:964144

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

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








**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# DIPLOMSKI RAD

Josip Andrišić

Zagreb, 2008.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# DIPLOMSKI RAD

Mentor

Doc. dr. sc. Vedran Slapničar

Josip Andrišić

Zagreb, 2008.

Zagreb, 24. travnja 2008.

| Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
|---|---|
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

# DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Josip Andrišić** Mat. br.: 0035145832

Naslov: **PROJEKT BRODA ZA PRIJEVOZ ŽIVE STOKE**

Opis zadatka:

1. Proučiti postojeći projekt broda za prijevoz žive stoke kapaciteta 23 800 $m^3$ te ga prepraviti prema:
   - novim propisima MARPOL Annex 1 reg. 13A,
   - zahtjevu za alternativnom propulzijom u slučaju kvara osnovne propulzije.

2. U prikladnom programskom sklopu izraditi model novog projekta broda.

3. Za novi projekt broda potrebno je izraditi:

   A. Opći plan broda.
   B. Glavno rebro broda.
   C. Dijagram mase praznog opremljenog broda.
   D. Karakteristična stanja krcanja broda s provjerom trima, stabiliteta i čvrstoće.

4. Potrebno je napraviti usporedbu glavnih parametara postojećeg projekta broda i novog projekta broda.

| Zadatak zadan: | Rok predaje rada: | Predviđeni datum obrane: |
|---|---|---|
| 24. travnja 2008. | 26. lipnja 2008. | 02.-04. srpnja 2008. |

Zadatak zadao: Predsjednik Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Vedran Slapničar Prof. dr. sc. Većeslav Čorić

# SAŽETAK

U ovom radu bit će predstavljen preliminarni projekt broda za prijevoz žive stoke prema zahtjevima definiranim u projektnom zadatku, a sastoje se od zahtjeva koji se odnosi na nove propise MARPOL Annex 1 reg. 13. A i od zahtjeva za alternativnom propulzijom u slučaju kvara osnovne propulzije.

Uvodni dio rada obuhvaća osnovne informacije o tipu broda, teretu i razlozima potrebe za ovakvim tipom transporta. Podaci su prikupljeni iz različitih izvora, pretežno s internet adresa koje su istaknute u samom radu.

U drugom poglavlju dan je kratak opis postojećeg projekta. Projekt novog broda izrađen je na temelju postojećeg projekta broda za prijevoz žive stoke (Gradnje 428 brodogradilišta 'Uljanik').

U četvrtom poglavlju definirane su potrebne izmjene prema projektnom zadatku u skladu s novim propisima za smještaj tankova goriva i zahtjevima naručioca za alternativnom propulzijom. Uz objašnjenje i razradu mogućih rješenja prikazana su konačna rješenja za novi projekt.

U petom poglavlju, u analizi projekta, dan je prikaz forme projekta, izmjene na općem planu obzirom na postojeći projekt, proračun konstrukcijskih elemenata glavnog rebra, proračun centracije, pregrađivanje te knjiga trima i stabiliteta za potrebna stanja krcanja. Na samom kraju, u 6. poglavlju dan je usporedni prikaz glavnih parametara postojećeg i novog projekta.

Svi podaci korišteni u proračunima prikupljeni su u brodogradilištu 'Uljanik', a proračuni su provedeni prema trenutno važećim pravilima za gradnju broda.

# SADRŽAJ

1. Uvod ....9
2. Tip broda ....10
2.1 Definicija, namjena, teret ....10
2.2 Transportni problem ....10
2.3 Izvoz ....12
2.4 Australski propisi ....13
3. Gradnja 428 ....16
3.1 Opći plan ....17
3.2 Teretni prostor ....17
3.3 Oprema za teret ....18
3.4 Konstrukcija ....19
4. Projekt ....22
4.1 Izmjene ....22
4.1.1 Propisi MARPOL Annex I, Regulation 13A ....23
4.1.2 Zahtjev brodovlasnika ....23
4.2 Pogon broda ....25
4.2.1 Preliminarna prognozni dijagram ....25
4.2.2 Usporedba varijanti pogona za kontejnerski brod nosivosti 12000 TEU ....27
4.2.3 Pogon pomoću dva stroja jednakih snaga – dvostruka strojarnica ....31
4.2.4 Pogon pomoću glavnog dieselskog motora i pomoćnog aktivnog kormila ....35
4.2.5 Analiza varijanti pogona ....41
4.2.6 Smještaj nove strojarnice ....42
4.3 Tankovi goriva ....45
5. Analiza projekta ....54
5.1 TRIDENT ....54
5.2 Seaking ....54
5.2.1 Hullform ....55
5.2.2 Hydro ....55
5.2.3 Compart ....55
5.2.4 Stab ....55
5.2.5 Loading ....55
5.2.6 Damage ....56
5.2.7 Speed ....56
5.3 Forma trupa ....57
5.4 Opći plan ....60
5.4.1 Tankovi ....60
5.4.2 Teretni prostor ....61
5.5 Glavno rebro ....65
5.5.1 Usporedba s gradnjom 428 ....65
5.5.2 Ulazni podaci ....67
5.5.3 Podaci o poprečnom presjeku ....68
5.5.4 Proračunski momenti savijanja ....69
5.5.5 Zahtjevi uzdužne čvrstoće trupa ....69
5.5.6 Pregled karakteristika uzdužne čvrstoće trupa ....70
5.5.7 Odjeljci ....70
5.5.8 Lokalna opterećenja paluba ....71
5.5.9 Podaci uključeni u proračun strukture ....71

5.5.10 Dimenzije strukture – opločenja i uzdužni nosači ..... 72
5.5.11 Dimenzije strukture – uzdužnjaci ..... 75
5.5.12 Dimenzije strukture – poprečnjaci boka ..... 76
5.5.13 Upore ..... 77
5.6 Vlastita masa broda ..... 79
5.7 Dijagram raspodjele mase broda ..... 81
5.8 Stabilitet ..... 82
5.8.1 Stabilitet broda u oštećenom stanju i pregrađivanje ..... 83
5.8.2 Stabilitet broda u neoštećenom stanju ..... 98
6. Usporedba glavnih parametara gradnje 428 i novog projekta ..... 137
7. Zaključak ..... 139
8. Literatura ..... 140

Prilog:

1. Opći plan - Brod za prijevoz žive stoke s diesel-električnom propulzijom
2. Nepropusni odjeljci
3. Glavno rebro

# I. Popis oznaka

| Oznaka: | Jedinica: | Fizikalna veličina: |
|---|---|---|
| A | $m^2$ | maksimalna horizontalna projekcija tanka goriva do visine $H_w$ od dna tanka |
| A | | postignuti indeks pregrađivanja |
| A | $m^2$ | ukupna površina torova |
| B | m | širina |
| $B_B$ | m | najveća teoretska širina broda na ili ispod vodne linije $d_B$ |
| $B_S$ | m | najveća teoretska širina broda na razini ili ispod najvećeg teretnog gaza |
| C | $m^3$ | ukupni volumen tankova goriva broda pri 98% popunjenosti |
| C | | konstanta pomaka stoke |
| $C_B$ | | koeficijent istisnine |
| $C_M$ | | koeficijent punoće glavnog rebra |
| $C_R$ | | koeficijent preostalog otpora |
| D | t | istisnina |
| $d_B$ | m | vertikalna udaljenost između teoretske osnovice na polovini duljine broda do vodne linije koja odgovara 30% visine $D_S$ |
| $d_l$ | m | laki gaz |
| $d_P$ | m | djelomični gaz |
| $d_s$ | m | maksimalni gaz |
| $D_S$ | m | teoretska visina, mjerena na polovini duljina do gornje palube |
| f | $m^2$ | površina palube po glavi stoke |
| F | $m^4$ | moment uslijed pomaka stočne hrane |
| $F_n$ | | Froudeov broj |
| GM | m | metacentarska visina |
| GZ | m | poluga stabiliteta |
| KG | m | visina težišta sustava od osnovice |
| L | m | duljina koja iznosi 96% ukupne duljine vodne linije na 85% najmanje teoretske visine mjerene od vrha kobilice, ili duljina između prednjeg dijela pramčane statve do osovine kormila na toj istoj vodnoj liniji ako je ta duljina veća |
| LCG | m | uzdužni položaj težišta masa |
| $L_{PP}$ | m | duljina između okomica |
| $L_s$ | m | duljina pregrađivanja |
| LWL | m | duljina vodne linije |
| $N_M$ | o/min | broj okretaja motora |
| $N_T$ | o/min | broj okretaja propelera |
| $O_M$ | $m^3$ | zahtijevani parametar prosječnog istjecanja goriva |
| $O_{MB}$ | $m^3$ | prosječno istjecanje za oštećenje na dnu broda |
| $O_{MS}$ | $m^3$ | prosječno istjecanje za bočno oštećenje |
| $O_{S(i)}$ | $m^3$ | istjecanje iz i-tog tanka u slučaju oštećenja pri čemu se pretpostavlja da je ta količina jednaka volumenu goriva u tanku pri 98% popunjenosti tanka |
| P | $t/m^2$ | tlak vjetra |

| | | |
|---|---|---|
| $P_B$ | kW | snaga na kočnici |
| $P_d$ | kW | isporučena snaga |
| $P_e$ | kW | efektivna snaga |
| pi | | vjerojatnost naplavljivanja odjeljka |
| R | | zahtijevani indeks pregrađivanja |
| S | $m^3/t$ | faktor skladištenja stočne hrane |
| si | | vjerojatnost prebrođenja nakon naplavljivanja |
| T | m | gaz |
| $T_A$ | m | gaz na krmi |
| $T_F$ | m | gaz na pramcu |
| VCG | m | vertikalni položaj težišta masa |
| $V_S$ | čv | brzina broda u službi |
| $V_T$ | čv | brzina broda na pokusnoj plovidbi |
| $W_{LS}$ | t | vlastita masa broda |
| X | m | poluga nagiba pri 0° uslijed djelovanja vjetra |
| $X_a$ | m | udaljenost između krmenog kraja duljine L i krmene točke promatranog tanka |
| $X_f$ | m | udaljenost između krmenog kraja duljine L i pramčane točke promatranog tanka |
| $X_T$ | m | uzdužni položaj težišta vlastite mase broda |
| y | m | minimalna horizontalna udaljenost mjerena okomito na CL između promatranog tanka i bočne oplate |
| Y | m | poluga nagiba pri 0° uslijed pomaka stočne hrane |
| $Y_B$ | m | minimalni iznos veličine $Y_B$ po duljini tanka goriva, pri čemu je, na bilo kojem mjestu, $Y_B$ poprečna udaljenost između bočne oplate na vodnoj liniji $d_B$ i tanka na ili ispod vodne linije $d_B$ |
| $Y_p$ | m | poprečna udaljenost između krajnje lijeve točke tanka, koja se nalazi na ili ispod vodne linije $d_B$, i vertikalne ravnine koja se nalazi na $B_B/2$, na desnoj strani broda, paralelno sa središnjom uzdužnom ravninom broda (CL-om) |
| $Y_s$ | m | poprečna udaljenost između krajnje desne točke tanka, koja se nalazi na ili ispod vodne linije $d_B$, i vertikalne ravnine koja se nalazi na $B_B/2$, na desnoj strani broda, paralelno sa središnjom uzdužnom ravninom broda (CL-om) |
| z | m | minimalna udaljenost z po duljini tanka, gdje je, na bilo kojem mjestu, z vertikalna udaljenost od donje točke oplate dna na toj uzdužnoj poziciji do donje točke tanka na toj uzdužnoj poziciji |
| Z | m | poluga nagiba pri 0° uslijed pomaka stoke |
| $Z_l$ | m | vertikalna udaljenost između teoretske osnovice i najniže točke promatranog tanka. Ako je $Z_l$ veća od veličine $D_S$, $Z_l$ treba uzeti kao $D_S$. |
| $Z_T$ | m | vertikalni položaj težišta vlastite mase broda |
| $Z_u$ | m | vertikalna udaljenost između teoretske osnovice i najviše točke promatranog tanka. Ako je $Z_u$ veća od veličine $D_S$, $Z_u$ treba uzeti kao $D_S$. |
| | | |
| A | $m^2$ | bočna površina broda iznad vodne linije |
| H | m | vertikalna udaljenost između težišta bočne površine broda iznad i ispod vodne linije |

# II. Popis slika

Slika 1. Proizvodnja ovaca u pojedinim zemljama u 2006. godini ..... 11
Slika 2. Proizvodnja junadi u pojedinim zemljama u 2006. godini ..... 11
Slika 3. Gradnja 428, Uljanik, Pula, 2002. ..... 16
Slika 4. Poprečni presjek gradnje 428 s rasporedom paluba ..... 20
Slika 5 . Prikaz kombinirane propulzije – glavnog pogonskog stroja i pomoćnog aktivnog kormila ..... 24
Slika 6. Prognozni dijagram za gradnju 428 ..... 26
Slika 7. Izvedbe kombiniranog pogona s glavnim pogonskim strojem i pomoćnim Azipod-om ..... 28
Slika 8. Pojedini tipovi pogona na modelu kontejnerskog broda ..... 28
Slika 9. 3D prikaz forme trupa s dvostrukim osovinskim vodom (pogled s krme) ..... 31
Slika 10. 3D prikaz forme trupa s dvostrukim osovinskim vodom (pogled s pramca) ..... 32
Slika 11. Poprečni presjek forme trupa s dvostrukim osovinskim vodom (krmena i pramčana rebra) ..... 32
Slika 12. Prognozni dijagram za pogon s dva pogonska stroja 2x 5S46MC-C8 ..... 34
Slika 13. Ulazni podaci za prognozni dijagram – pogonski stroj 6S50MC-C ..... 36
Slika 14. Prognozni dijagram za pogon sa glavnim strojem 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW ..... 37
Slika 15. Prognozni dijagram za pogon sa pomoćnim pogonom POD 2000 kW ..... 39
Slika 16. Prognozni dijagram za kombinirani pogon - 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW ..... 40
Slika 17. Usporedba isporučene snage za sve varijante pogona i sa gradnjom 428 ..... 41
Slika 18. Prikaz strojarnice gradnje 428 – gornja platforma strojarnice ..... 43
Slika 19. Opći plan strojarnice projektiranog broda ..... 43
Slika 20. Tankovi dvodna gradnje 428 ..... 45
Slika 21. Tankovi gornje platforme strojarnice gradnje 428 ..... 46
Slika 22. Granica tankova goriva prema točki 6 ..... 47
Slika 23. Granica tankova goriva prema točki 7 ..... 47
Slika 24. Tankovi goriva dvodna i tankovi teškog goriva od pokrova dvodna do 5. palube - projekt ..... 49
Slika 25. Tankovi teškog goriva i dieselskog goriva u krmenom piku za projekt ..... 50
Slika 26. Dimenzije tankova potrebne za proračun ..... 52
Slika 27. 3D model forme ..... 57
Slika 28. Poprečni presjek ..... 58
Slika 29. Uzdužni presjek ..... 59
Slika 30. Dimenzije tora i pripadnog prolaza ..... 62
Slika 31. Gradnja 428 - prikaz otvorenog boka iznad 6. palube ..... 66
Slika 32. Projekt – prikaz zatvorenog boka na krmenom dijelu iznad 6. palube ..... 66
Slika 33. Raspored upora ..... 77
Slika 34. Dimenzije upore 1, 3 i 4 te upore br. 2 ..... 78
Slika 35. Dijagram raspodjele mase broda ..... 81
Slika 36. Skica oznaka veličina za proračun stabiliteta ..... 82
Slika 37. Podjela broda na zone ..... 88
Slika 38. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 12.00 na gazu $d_s$ = 8,461 m ..... 90
Slika 39. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 311.00 na gazu $d_p$ =7,089m ..... 91
Slika 40. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 311.00 na gazu $d_l$ =5,031m ..... 93
Slika 41. Krivulja minimalnih početnih metacentarskih visina ..... 94
Slika 42. Vodne linije za pojedine slučajeve oštećenja ..... 97
Slika 43. Ilustracija za kriterije stabiliteta ..... 98
Slika 44. Površina broda izložena vjetru ..... 100

# III. Popis tablica

Tablica 1. Smrtnost junadi na izvoznima putovanjima ... 13
Tablica 2. Smrtnost bivola na izvoznima putovanjima ... 13
Tablica 3. Smrtnost ovaca na izvoznima putovanjima ... 14
Tablica 4. Smrtnost koza na izvoznima putovanjima ... 14
Tablica 5. Raspored torova po palubama ... 17
Tablica 6. Raspored poprečnih pregrada ... 19
Tablica 7. Raspored paluba i visine međupalublja ... 19
Tablica 8. Kapaciteti tankova ... 21
Tablica 9. Ulazni podaci za prognozni dijagram – gradnja 428 ... 25
Tablica 10. Izlazni podaci i prognozni dijagram – gradnja 428 ... 26
Tablica 11. Glavne dimenzije kontejnerskog broda nosivosti 12000 TEU ... 28
Tablica 12. Predviđeni troškovi u eksploataciji kontejnerskog broda nosivosti 12000 TEU ... 29
Tablica 13. Troškovi nabave porivnih strojeva ... 29
Tablica 14. Godišnji eksploatacijski troškovi goriva, maziva i razlika između pojedinih sustava ... 30
Tablica 15. Operativni troškovi i troškovi goriva i mazivog ulja po MWh ... 30
Tablica 16. Ulazni podaci za prognozni dijagram – dva pogonska stroja 2x 5S46MC-C8 ... 33
Tablica 17. Izlazni podaci i prognoza otpora – dva pogonska stroja 2x 5S46MC-C8 ... 33
Tablica 18. Izlazni podaci i prognoza brzine – pogonski stroj 6S50MC-C ... 36
Tablica 19. Ulazni podaci za prognozni dijagram - pogonski stroj POD 2000 kW ... 37
Tablica 20. Izlazni podaci i prognoza brzine – pogonski stroj POD 2000 kW ... 38
Tablica 21. Ulazni podaci za prognozni dijagram za kombinirani pogon - 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW ... 39
Tablica 22. Izlazni podaci i prognoza brzine za kombinirani pogon - 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW ... 40
Tablica 23. Usporedba prognoziranih brzina za različite varijante pogona ... 41
Tablica 24. Popis tankova goriva sa položajem težišta gradnje 428 ... 45
Tablica 25. Popis tankova goriva i težišta za predviđeni raspored za projekt ... 48
Tablica 26. Proračun vjerojatnosti istjecanja goriva u slučaju oštećenja ... 53
Tablica 27. Raspored poprečnih pregrada i prostora projekta ... 60
Tablica 28. Položaji težišta i volumeni tankova i skladišta stočne hrane ... 60
Tablica 29. Položaji težišta i volumeni tankova i skladišta stočne hrane ... 62
Tablica 30. Raspored torova po palubama ... 63
Tablica 31. Dimenzije i opterećenja upora ... 77
Tablica 32. Centracija ... 79
Tablica 33. Raspodjela mase ... 81
Tablica 34. Točke granične linije naplavljivanja ... 83
Tablica 35. Odjeljci koji ulaze u proračun stabiliteta u oštećenom stanju ... 84
Tablica 36. Naplavljivost ... 85
Tablica 37. Naplavljivost teretnih prostora ... 85
Tablica 38. Slučajevi oštećenja ... 85
Tablica 39. Minimalne metacentarske visine za gaz $d_s$ ... 89
Tablica 40. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_s$ ... 89
Tablica 41. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_s$ ... 90
Tablica 42. Minimalne metacentarske visine za gaz $d_p$ ... 90
Tablica 43. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_p$ ... 91
Tablica 44. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_p$ ... 91
Tablica 45. Minimalne metacentarske visine za gaz $d_l$ ... 92
Tablica 46. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_l$ ... 92
Tablica 47. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_l$ ... 92
Tablica 48. Minimalne početne metacentarske visine prema kriterijima stabiliteta u oštećenom stanju s korekcijom utjecaja slobodnih površina ... 93
Tablica 49. Ulazni podaci ... 95

Tablica 50. Račun ..... 95
Tablica 51. Površina izložena vjetru, udaljenost između težišta površina i poluga zbog djelovanja vjetra za različite gazove.....100
Tablica 52. Minimalne metacentarske visine prema kriterijima stabiliteta u neoštećenom stanju .....101
Tablica 53. Hidrostatika .....103
Tablica 54. KN vrijednosti za TRIM = 0 .....104
Tablica 55. Dozvoljeni momenti savijanja i smične sile za mirno more.....105

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći navedenu literaturu, podatke i predloške dobivene u brodogradilištu 'Uljanik', te uz stručnu pomoć mentora i inženjera iz Projekta brodogradilišta Uljanik. Ovom im prilikom zahvaljujem na svoj pruženoj pomoći.

Posebno hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili školovanje i studiranje, Mariji na velikoj podršci te svim prijateljima i kolegama.

# 1. Uvod

U današnjem globalnom svijetu, gdje prevladavaju zakoni slobodnog tržišta i gdje svi nastoje i moraju zaraditi kako bi opstali na tom istom tržištu, potrebno je uložiti mnogo napora kako bi se projektirao proizvod – brod koji će omogućiti opstanak proizvođaču – brodogradilištu i kupcu – brodovlasniku.

Osnovni principi projektiranja trgovačkih brodova su gotovo jednaki za sve tipove brodova: potrebno je projektirati brod koji će biti po svim svojim značajkama konkurentan, koji će zadovoljiti sva pravila i propise i koji će biti, u što većoj mogućoj mjeri, kvalitetan.

Brod za prijevoz žive stoke je brod vrlo specifične namjene. Udio tržišta žive stoke u svjetskoj razmjeni dobara je relativno mali, a u skladu s time je i broj brodova koji služe za prijevoz stoke. Većina brodova za prijevoz žive stoke su različiti tipovi brodova koji su prenamjenjeni za ovu svrhu. U svijetu postoji svega nekolicina brodova koji su izgrađeni kao novogradnje isključivo za prijevoz žive stoke. S obzirom na takav relativno malen broj postojećih novogradnji, za definiranje svojstava broda postoji relativno puno prostora koji omogućava izradu kvalitetnih rješenja koja će zadovoljiti potrebe brodovlasnika i omogućiti mu što veći profit, a isto tako omogućiti brodogradilištu da svoja rješenja dobro proda i time sebi osigura egzistenciju i dobru reputaciju.

2002. godine je u brodogradilištu 'Uljanik' isporučena prva novogradnja za prijevoz žive stoke - Gradnja 428. Interes brodovlasnika za novim brodovima najbolje pokazuje kvalitetu i isplativost postojećeg broda. Međutim, iskustvo brodovlasnika s eksploatacijom postojećeg broda nagnalo je brodovlasnika na neke izmjene i dodatna rješenja koja će povećati profitabilnost i sigurnost broda. Jedan od zahtjeva predočen je u zadatku ovog rada, a to je zahtjev brodovlasnika za alternativnom propulzijom. Ovo rješenje omogućit će veću redundantnost pogona kao i sigurnost broda odnosno tereta. U samom radu bit će spomenuta još neka rješenja glede konstrukcije i opreme broda koja, iako nisu zadana u zadatku, doprinose kvaliteti, sigurnosti i profitabilnosti broda kako u gradnji tako i u eksploataciji. Spomenuta rješenja su nastala u suradnji brodogradilišta 'Uljanik', brodovlasnika i dijelom Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

Pravila i propisi, koje je potrebno poštivati i zadovoljiti u procesu osnivanja i gradnje broda, se svakim danom mijenjaju pa je u skladu s time potrebno sve projektne zahtjeve i rješenja uklopiti u projekt koji će zadovoljiti sve važeće propise. Kako bi se zadovoljili novi MARPOL propisi biti će potrebno napraviti određene izmjene glede strukturnih tankova goriva postojećeg projekta. Sve zahtjeve propisa treba razmotriti s velikom pažnjom kako krajnja rješenja ne bi narušila kvalitetu, sigurnost i ekonomičnost projekta.

Uvodni dio rada obuhvaća osnovne informacije o tipu broda, teretu i razlozima potrebe za ovakvim tipom transporta. Podaci su prikupljeni iz različitih izvora, pretežno s internet adresa koje su istaknute u samom radu.

U drugom poglavlju dan je kratak opis postojećeg projekta. Projekt novog broda izrađen je na temelju postojećeg projekta broda za prijevoz žive stoke (Gradnje 428 brodogradilišta 'Uljanik').

U četvrtom poglavlju definirane su potrebne izmjene prema projektnom zadatku u skladu s novim propisima za smještaj tankova goriva i zahtjevima naručioca za alternativnom propulzijom. Uz objašnjenje i razradu mogućih rješenja prikazana su konačna rješenja za novi projekt.

U petom poglavlju, u analizi projekta, dan je prikaz forme projekta, izmjene na općem planu obzirom na postojeći projekt, proračun konstrukcijskih elemenata glavnog rebra, proračun centracije, pregrađivanje te knjiga trima i stabiliteta za potrebna stanja krcanja. Na samom kraju dan je usporedni prikaz glavnih parametara postojećeg i novog projekta.

# 2. Tip broda

## *2.1 Definicija, namjena, teret*

Brod za prijevoz žive stoke (engl. live stock carrier) je višepalubni brod namijenjen prijevozu žive stoke (ovaca, junadi, koza, bivola i sl.). Osnovne funkcije koje brod ovog tipa mora zadovoljavati su ukrcaj stoke, održavanje stoke na životu za vrijeme plovidbe (hranjenje, pojenje, dovod svježeg zraka) te iskrcaj stoke u luci iskrcaja. Pri tom, brod treba udovoljavati svim zahtjevima zakonodavnih tijela, državnih (zemalja izvoznica i uvoznica) i međunarodnih, glede sigurnosti broda, posade i tereta. S obzirom da je teret specifičan i vrlo osjetljiv potrebno je osigurati dobrobit životinja u što većoj mogućoj mjeri kako ne bi došlo do mučenja životinja i njihova stradavanja, što samo po sebi, tj. moralno, nije prihvatljivo, a naravno utječe i na ekonomsku bilancu.

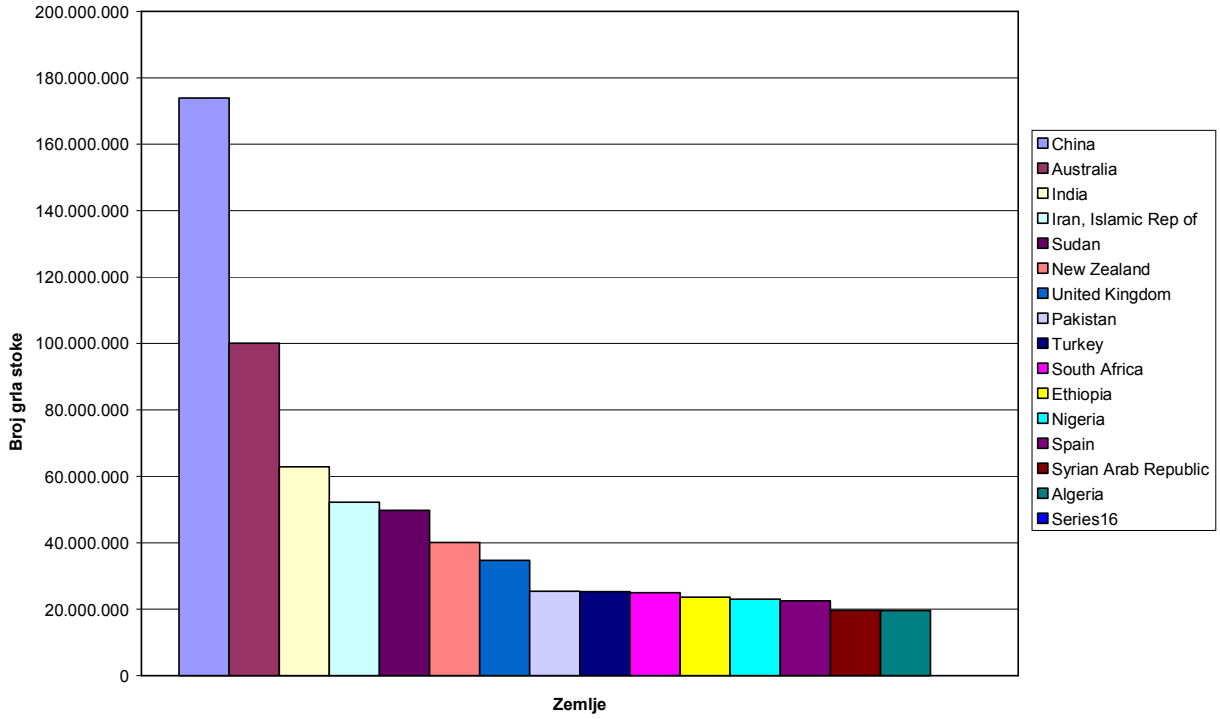
Iz osnovne namjene proizlazi da se za ovakav brod zahtjeva što veća površina za smještaj stoke te sustavi i uređaji za hranjenje stoke, pojenje stoke i dovod svježeg zraka. Zahtjev za što većom površinom implicira da će brod imati veći broj paluba na kojima se smješta stoka. Stoka se smješta unutar torova. Tor je ograđena površina na palubi unutar koje se smješta određeni broj stoke. Taj broj je definiran prema standardima za transport stoke na brodu. Svakom toru mora biti dostupna svježa voda i hrana i dakako svježi zrak. Proizlazi da je raspoloživa površina glavna dimenzija koja će definirati sposobnost broda za prijevoz određene količine tereta, odnosno definirati njegovu nosivost.

## *2.2 Transportni problem*

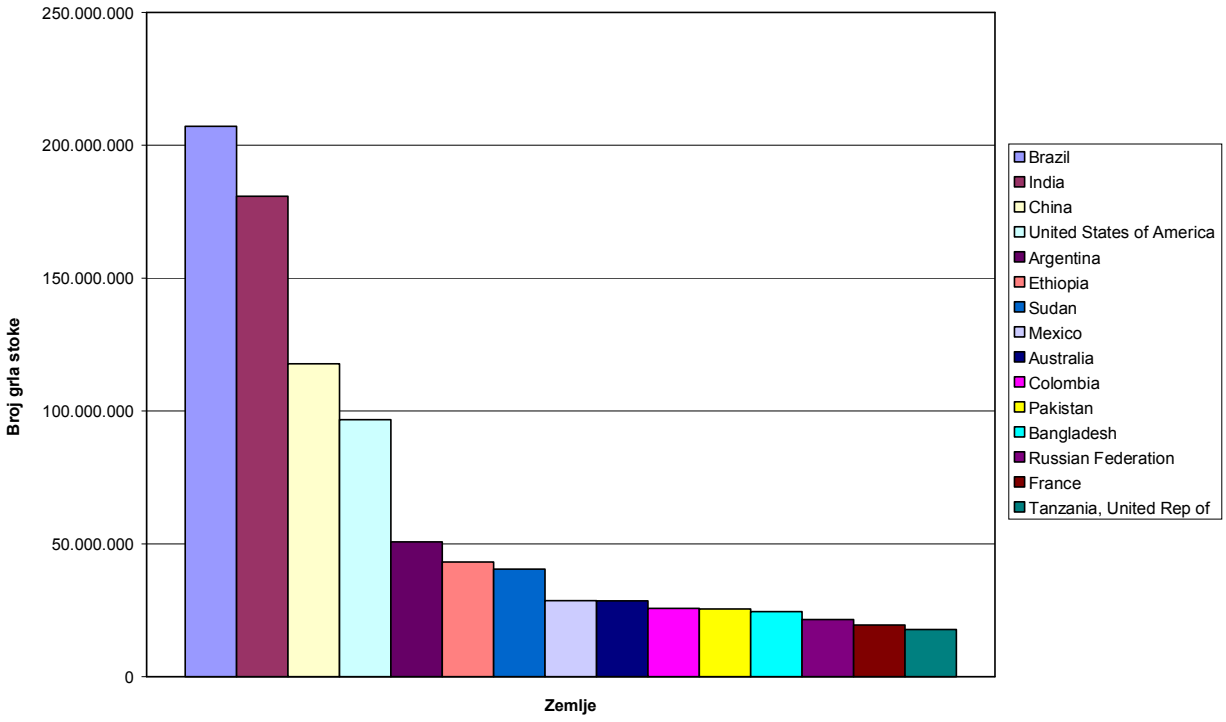
Pobliže definiranje okoline u kojoj će brod vršiti svoju službu, omogućuje bolje razumijevanje projektnih zahtjeva. Rast stanovništva u svijetu uzrokuje sve veće potrebe za hranom - hranom koju sve zemlje ne mogu u dovoljnoj mjeri proizvesti za potrebe stanovništva. Takve zemlje primorane su hranu uvoziti od zemalja koje su bogate obradivim površinama i koje ih koriste kako za uzgoj stoke tako i za druge kulture. Zemlje koje prednjače u izvozu žive stoke su Australija, Brazil, SAD, Argentina, EU, a sve je veći značaj i zemalja trećeg svijeta u izvozu žive stoke.

Australija[1] koristi 2/3 od ukupne površine za poljoprivredu, a 90% tih površina se koristi za uzgoj ovaca. Australija broji preko 100 milijuna grla stoke, računajući pri tom samo ovce, što ju čini jednom od najvećih proizvođača i izvoznika ovaca i vune u svijetu. Na sljedećim dijagramima [1] prikazana je godišnja proizvodnja ovaca u 2006. godini u pojedinim zemljama koje prednjače u proizvodnji određene vrste. Iz oba dijagrama je uočljivo da Australija spada među prvih 10 proizvođača kako ovaca tako junadi zbog čega ta proizvodnja ima veliki značaj u vanjskoj trgovini. Podaci su preuzeti sa internet adrese organizacije FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

[1] http://www.ulricianum-aurich.de/lk/knots/sheep_farmers_13.htm




**Slika 1. Proizvodnja ovaca u pojedinim zemljama u 2006. godini [1]**




**Slika 2. Proizvodnja junadi u pojedinim zemljama u 2006. godini [1]**

Transport prehrambenih proizvoda zauzima značajan udio u svjetskoj trgovini i razvijeni su različiti načini transporta takvih proizvoda kako kopnenim tako i pomorskim putevima. Prevoze se voće, povrće, žitarice, meso, itd. Za svaki tip prehrambenog proizvoda razvijeni su različiti načini konzerviranja i skladištenja kako bi se sačuvala njegova kvaliteta do finalnog kupca odnosno potrošača. Tako je za mesne proizvode najprikladniji način transporta u

smrznutom obliku koji se onda prevozi pomoću brodova hladnjača ili u rashladnim kontejnerima. Takav način transporta je relativno jednostavan i siguran.

Zašto onda brodovi za prijevoz žive stoke? Zbog potreba tržišta. Razlozi koji stvaraju potrebu za uvoz žive stoke leže u kulturnim i religijskim načelima, ali tu su i praktični razlozi koji obuhvaćaju nedostatak prikladnih objekata i načina skladištenja smrznutih proizvoda u siromašnim dijelovima pojedinih zemalja. Religijska načela pojedinih kultura su međutim glavni uzrok za uvoz žive stoke. Prije svega se to odnosi na muslimansku religiju i kulturu. Prema muslimanskom vjerskom zakonu postoje dvije riječi koje općenito definiraju što je dozvoljeno, a što nije. Prva je *halal* - arapska riječi za 'zakonito' ili 'dozvoljeno', a druga je *haram* što znači 'nezakonito' ili 'zabranjeno'. Iako su te riječi općenitog značenja, često se koriste kao izrazi za nešto što je ili nije dozvoljeno, a u vezi je s prehrambenim proizvodima, mesnim proizvodima, kozmetikom, prehrambenim začinima i materijalima koje dolaze u dodir s hranom. Prema muslimanskom vjerskom zakonu sva hrana i prehrambeni proizvodi su halal, osim sljedećih [2]:

- svinjetina i svi proizvodi koji sadrže svinjetinu;
- meso životinja koje nije zaklano na odgovarajući način ili životinja koje su uginule prije nego što su bile zaklane;
- životinje koje su ubijene u bilo čije ime osim u ime ALLAHA (Boga);
- alkohol i različiti toksini;
- meso životinja mesoždera, ptica grabežljivica i životinja bez vanjskih ušiju;
- krv i proizvodi od krvi;
- hrana koja je bila u doticaju sa i jednom od gore navedenih proizvoda.

Iz navedenih su razloga zemlje u kojima je većinom muslimansko stanovništvo (zemlje Bliskog Istoka i sjeverne Afrike) počele uvoziti živu stoku. Kako bi se zadovoljile potrebe tog tržišta, pojavila se potreba za prikladnim načinom transporta žive stoke. Upravo su se brodovi za prijevoz žive stoke pojavili kao najprikladnije rješenje za ovaj transportni problem.

## *2.3 Izvoz*

Već je spomenuto da je Australija najveći izvoznik žive stoke (po broju izvezenih grla [3]) koja izvozi u gotovo sve dijelove svijeta, a pretežno u zemlje bliskog istoka. Zemlje u koje Australija izvozi ovce su većina zemalja Arapskog poluotoka, Egipat, Izrael, Libanon, Palestina, Ukrajina, Malezija, Singapur, Mauricijus, Novi Zeland, Kina, Japan, SAD, Mexico, Argentina, Čile i Filipini. Junad i drugu stoku izvozi u sve već navedene zemlje te Hong Kong, Rusiju, Vijetnam, Novu Kaledoniju i Papuu Novu Gvineju.

Zbog velikog tržišta potrebna je jaka organizacija sustava koji će moći osigurati siguran transport velikog broja stoke. Sve razvijene zemlje koje izvoze živu stoku u različitoj mjeri imaju propise i standarde koji traže ispunjavanje određenih zahtjeva u procesu transporta žive stoke. To su npr. Australija, Novi Zeland, Irska, SAD, Velika Britanija, Kanada, Brazil, Argentina, EU, itd. Australsko Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i šumarstva je u suradnji s izvoznicima i zemljama uvoznicama stoke donijela propise kojih se sve strane moraju pridržavati radi organiziranosti trgovine i dobrobiti stoke. Svi brodovi kojima se stoka izvozi ili uvozi iz Australije moraju, osim svih međunarodnih pravila koja svi brodovi moraju zadovoljavati, posjedovati licencu za izvoz žive stoke, a za posjedovanje licence potrebno je imati LEAP[2] (Livestock Export Accreditation Program) akreditaciju. Osnova za dobivanje akreditacije je zadovoljenje australskih standarda za izvoz žive stoke - Australian Livestock Export Standards, a za izvoz brodom potrebno je zadovoljiti AMSA-ina pravila [4]. Standardi

[2] http://www.ulricianum-aurich.de/lk/knots/livestock_13.htm#building

propisuju minimalne uvjete kao i prijedloge za najbolje postupanje u procesu izvoza te se temelje na praktičnom stočarstvu i znanstvenim istraživanjima. Standardi obuhvaćaju skup propisa kako treba postupati sa stokom od samog proizvođača do iskrcaja stoke u zemlji koja stoku uvozi te propisa koji definiraju zahtjeve na sva transportna sredstva za prijevoz žive stoke. Ovi propisi se konstantno unapređuju kako bi se poboljšali uvjeti za prijevoz stoke i time se osigurala dobrobit životinja u svim fazama izvoza, ali i sprečavanje bolesti, zaraza i smrtnosti stoke što je u interesu svih sudionika trgovine.

Propisi različitih zemalja izvoznica žive stoke su u različitoj mjeri detaljizirana i ne obuhvaćaju sve dijelove procesa transporta i trgovine živom stokom. U konačnom izvješću o svjetskim standardima za izvoz žive stoke [3] dane se usporedbe pojedinih standarda za pojedina područja koja obuhvaćaju. Prilikom izrade ovog projekta primijenit će se australski propisi [4]. Oni se odnose prije svega na kriterije koje brod, koji prevozi živu stoku, mora ispunjavati kako bi mogao izvoziti živu stoku iz Australije. Predviđa se da će projektirani brod ploviti na ruti koja će obuhvaćati Australiju iz koje će se stoka izvoziti pa je zadovoljenje ovih propisa obvezatno.

## *2.4 Australski propisi*

Na brodu se prijevozi velik broj stoke. Po nekoliko stotina ili tisuća grla smješta se na svakoj palubi. Tako velik broj stoke zahtjeva odgovarajuće sustave s automatiziranim hranilicama, dotok svježe vode i zraka. Zbog velikog broj životinja, porast temperature, zagušljivost i onečišćenost prostora mogu prouzrokovati teške uvjete u kojima se stoka lako razbolijeva i ugiba. Cilj australskih vlasti i raznih udruga je omogućiti što povoljnije uvjete za prijevoz stoke radi zaštite životinja i njihova sigurna prijevoza. Tokom godina pokazalo se da primjena standarda znatno pridonosi boljim uvjetima stoke prilikom transporta, manjem razbolijevanju i manjoj smrtnosti stoke. U sljedećoj tablici prikazani su postoci smrtnosti stoke na izvoznim brodskim putovanjima, prema australskom ministarstvu (DAFF) [5].

**Tablica 1. Smrtnost junadi na izvoznima putovanjima**

| All Voyages | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 Jan-Jun |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Number of Voyages | 411 | 404 | 454 | 375 | 295 | 244 | 221 | 133 |
| Head Exported | 752,381 | 767,348 | 953,754 | 731,703 | 654,419 | 547,356 | 623,052 | 334,908 |
| Mortalities | 1,435 | 1,425 | 2,219 | 705 | 774 | 769 | 1,088 | 343 |
| Average Mortality Rate | 0,19% | 0,19% | 0,23% | 0,10% | 0,12% | 0,14% | 0,175% | 0,10% |

**Tablica 2. Smrtnost bivola na izvoznima putovanjima**

| All Voyages | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Number of Voyages | 17 | 16 | 27 | 25 | 21 | 15 |
| Head Exported | 1,901 | 1,94 | 3,801 | 3,858 | 5,487 | 2,954 |
| Mortalities | 14 | 5 | 21 | 20 | 23 | 3 |
| Average Mortality Rate | 0,74% | 0,26% | 0,55% | 0,52% | 0,42% | 0,10% |

**Tablica 3. Smrtnost ovaca na izvoznima putovanjima**

| All Voyages | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 Jan-Jun |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Number of voyages | 104 | 139 | 134 | 93 | 66 | 56 | 68 | 28 |
| Head Exported | 4,553,189 | 6,257,120 | 6,069,702 | 4,379,920 | 3,638,413 | 3,651,584 | 4,158,671 | 1,665,221 |
| Mortalities | 61 | 78,749 | 75,53 | 43,404 | 28,005 | 35,534 | 37,348 | 11,808 |
| Average mortality rate | 1,34% | 1,26% | 1,24% | 0,99% | 0,77% | 0,97% | 0,898% | 0,71% |

**Tablica 4. Smrtnost koza na izvoznima putovanjima**

| All Voyages | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Number of voyages | 35 | 68 | 65 | 53 | 33 | 23 |
| Head Exported | 18,991 | 63,362 | 111,334 | 52,412 | 22,635 | 12,528 |
| Mortalities | 376 | 1,236 | 1,808 | 399 | 212 | 85 |
| Average mortality rate | 1,98% | 1,95% | 1,62% | 0,76% | 0,94% | 0,68% |

Podaci pokazuju da se smrtnost stoke na putovanjima s godinama smanjuje, ali još uvijek postoji. Primjena standarda za transport stoke pridonijela je boljem tretiranju životinja. U domeni brodogradnje primjenjuju se standardi AMSA-e (Australian Maritime Safety Authority) [4] koji u sklopu australskih vlasti izdaju standarde odnosno propise koje treba ispunjavati kako bi se dobila dozvola (akreditacija) za izvoz stoke brodom iz Australije. Zahtjevi standarda su značajni jer utječu na raspored tereta, konstrukciju, opremu na brodu, raspored masa, stabilitet te ih je potrebno uzeti u obzir u samom procesu projektiranja broda.

Australski propisi odnose se prije svega na rukovanje teretom - živom stokom te na sve sustave i opremu te broda kao cjeline o kojima ovisi sigurnost prijevoza stoke i dobrobit same stoke. Pod živom stokom australska pravila podrazumijevaju ovce, junad, bivole, konje, koze, svinje, deve, životinje za zabavu i druge životinje koje se koriste u komercijalne svrhe i za potrebe zaštitarskih udruga, pri tom nisu uključeni kućni ljubimci. Kako bi se odobrio certifikat za prijevoz žive stoke (obavezan za sve brodove koji izvoze živu stoku iz Australije) potrebno je podnijeti na odobrenje sljedeću dokumentaciju:

a) nacrti u mjerilu koji sadrže detalje o:
   - projektu, materijalima, metode konstrukcije i izrade opreme za zadržavanje i kretanje stoke;
   - rasporedu ventilacijskih sustava sa bruto volumenom zatvorenih prostora;
   - rasvjeti;
   - predviđenim prostorima za skladištenje stočne hrane i vode;
   - rasporedu drenažnih sistema;
   - rasporedu i strukturi glavnih i pomoćnih izvora energije;
   - protupožarnim sustavima;
   - općem planu broda; ukoliko je brod prerađen za prijevoz stoke, potrebno je prikazati opće planove prije i nakon konverzije;

b) podatke o stabilitetu za brod koji je natovaren živom stokom;

c) dokumentirani program održavanja koji se odnosi na:
   - strukturu za zadržavanje stoke (uključujući pristupne prolaze, rampe između paluba i pristupne rampe između obale i broda);
   - ventilacijske, rasvjetne i drenažne sustave za površine na brodu gdje se nalazi živa stoka, uključujući glavne i pomoćne izvore energije;

- strukturu spremišta i distribucije stočne hrane i vode;
- proizvodnju pitke vode na brodu (ako je to potrebno da bi se osigurala dovoljna količina vode za potrebe stoke);
- protupožarne uređaje u područjima broda gdje se smješta stoka;

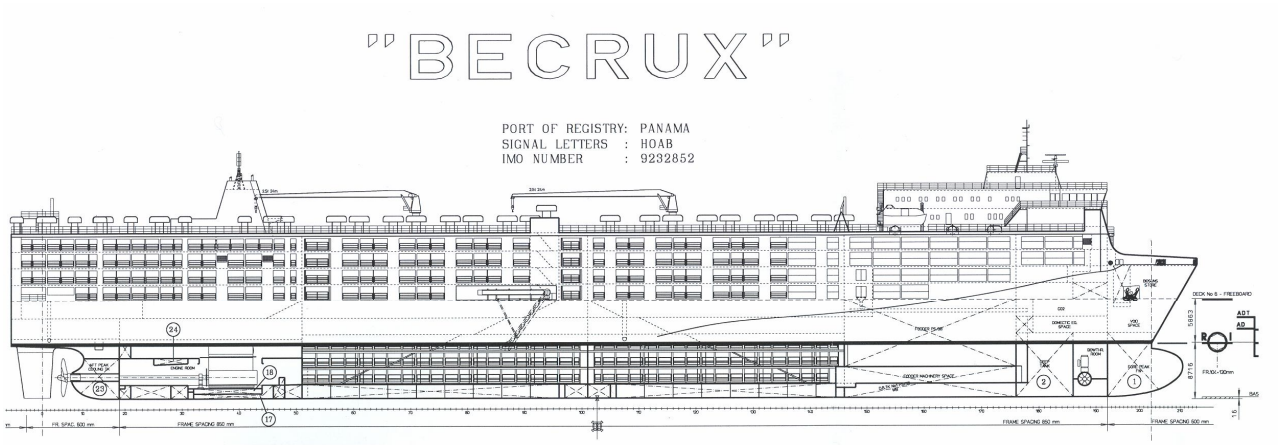
d) popis opreme i rasporeda prema Form 1, Appendix 1 [4].

Osim ovih i drugih zahtjeva, prema poglavlju 39 [4] propisi nalažu da se, u slučaju uginuća stoke, uginula stoka odlaže u skladu sa zahtjevima prema Annex 5, MARPOL 73/78. Osim toga kapetan broda mora osigurati da se ni jedno truplo ne baci u more unutar 100 morskih milja od najbliže obale.

Australski propisi će se primjenjivati u svim dijelovima izrade ovog projekta kako bi konačni projekt zadovoljio sve zahtjeve dane ovim propisima.

# 3. Gradnja 428

Kako se počelo razvijati tržište žive stoke, pojavila se potreba za specijaliziranim brodovima za prijevoz stoke. Većina brodovlasnika posegnula je za različitim postojećim brodovima koji su se onda u brodogradilištima prenamjenili za prijevoz stoke. To su bili različiti tipovi brodova: brodovi za prijevoz kontejnera, brodovi za prijevoz automobila, brodovi za opći teret, itd. U brodogradilištu 'Uljanik', u Puli, je 2002. godine isporučena prva novogradnja u svijetu projektirana i izgrađena isključivo za prijevoz žive stoke. Uljanikova novogradnja br. 428 pod imenom "Becrux" isporučena je brodovlasniku 'Sussex Shipping Inc.' Opći plan gradnje 428 prikazan je na sljedećoj slici.




**Slika 3. Gradnja 428, Uljanik, Pula, 2002.**

Glavne značajke gradnje 428:

| | |
|---|---|
| Duljina preko svega | 176,27 m |
| Duljina između okomica | 165,00 m |
| Širina, teoretska | 31,10 m |
| Visina, teoretska do 6. palube | 14,53 m |
| Visina, teoretska do 10. palube | 24,08 m |
| Gaz, projektni teoretski | 7,716 m |
| Nosivost na projektnom gazu | 9728 t |
| Gaz, proračunski teoretski | 8,716 m |
| Nosivost na proračunskom gazu | 13462 t |
| Glavni stroj | MAN B&W 7S50MC-C |
| Snaga | 11060kW/127 o/min |
| Brzina u službi (90% MCR, 15% SM) | 19,8 čv |

## *3.1 Opći plan*

Glavna dimenzija koja definira raspoloživost za smještaj tereta je površina. Velik broj prostranih paluba daje veliku površinu na koju je moguće smjestiti životinje. Brod ima 10 paluba od kojih 9 služe za smještaj tereta, a najgornja paluba je vanjska paluba na kojoj su smješteni ventilacijski uređaji, uređaji za dostavu hrane (transporteri), servisne dizalice i dr. Paluba broj 6 je paluba nadvođa i ujedno paluba čvrstoće.

Strojarnica je smještena na krmi, a glavni pogonski stroj je sporohodni dieselski motor. U dvodnu su smješteni skladišni tankovi teškog goriva i balastni tankovi u kojima se smješta pitka voda potrebna za pojenje stoke. Tankovi goriva nalaze se u središnjem dijelu, a balasta sa strane te su odvojeni pregratkom. U središnjem dijelu oko sredine broda nalaze se dva tanka za sakupljanje stočnih fekalije kada se one ne smiju izbacivati u more. Na pramčanu dijelu nalazi se skladište za stočnu hranu te sustav uređaja – transportera (horizontalnih i vertikalnih) koji hranu uzimaju iz skladišta te odvode na najgornju palubu gdje se opet putem horizontalnih transportera, kroz otvore i cijevi, gravitacijski spušta do svih torova. U pramčanom piku se još nalazi pramčani porivnik, balastni tankovi i razna oprema za različite brodske službe (sidrenje, vez, itd.).

## *3.2 Teretni prostor*

Životinje se smještaju na palubama, u ograđenim torovima čije su dimenzije ograničene brojem životinja i vrstom životinja koje se smještaju u tor. Svaki tor ima hranilice, pojilice i drenažne odvode za fekalije. Hrana i svježa voda se do svakog tora dostavljaju automatski. Sve palube, tj. svi teretni prostori su opremljeni ventilacijskim cijevima koje, uz pomoć ventilatora na najgornjoj palubi, vrše prisilnu izmjenu zraka, tj. dostavljaju svježi zrak. Iako su bokovi broda iznad 6. palube otvoreni, prirodna cirkulacija nije dovoljna za izmjenu zraka pa je prisilna ventilacija neophodna i na tim palubama.

Ukrcaj i iskrcaj stoke na brod i sa broda vrši se putem bočnih rampi koje se mogu postaviti na 6. palubi ili na nekoj od paluba iznad 6. Komunikacija između pojedinih paluba također se odvija putem kosina – rampi. Dimenzije torova, rampi, zaštitnih ograda torova i rampi, itd. definirani su australskim propisima direktno ili putem dozvoljenog opterećenja koje određena struktura mora podnijeti. Površine po kojima se kreće stoka su prilagođene za vrstu stoke koja se prevozi, a općenito su prekrivene slojem materijala koja sprečava proklizavanje stoke. Na svakoj palubi nalazi se određeni broj torova za smještaj bolesne stoke kako bi se izdvojila od zdrave. U sljedećoj tablici dane su dimenzije torova predviđene za smještaj stoke (junadi), u koliko se smješta neka druga vrsta životinja, potrebno je veličine torova prilagoditi toj vrsti stoke).

**Tablica 5. Raspored torova po palubama**

| Pozicija | Broj torova | Površina ($m^2$) | LCG (m) | VCG (m) |
|---|---|---|---|---|
| Paluba 9 R. -7 - 51 | 56 | 992,88 | 17,189 | 21,887 |
| Paluba 9 R. 51 - 101 | 55 | 981,21 | 58,151 | 21,887 |
| Paluba 9 R. 101 - 146 | 53 | 943,23 | 100,408 | 21,887 |
| Paluba 9 R. 146 – 192 | 54 | 976,02 | 138,621 | 21,887 |
| Paluba 9 ukupno | 218 | 3893,34 | 78,115 | 21,887 |
| Paluba 8 R. -7 - 51 | 56 | 978,05 | 17,053 | 19,437 |
| Paluba 8 R. 51 - 101 | 55 | 978,78 | 58,151 | 19,437 |
| Paluba 8 R. 101 - 146 | 53 | 941,13 | 100,407 | 19,437 |
| Paluba 8 R. 146 – 192 | 54 | 976,06 | 138,621 | 19,437 |
| Paluba 8 ukupno | 218 | 3874,02 | 78,315 | 19,437 |
| Paluba 7 R. -7 - 51 | 56 | 983,88 | 17,103 | 16,987 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Paluba 7 R. 51 - 101 | 54 | 942,79 | 57,434 | 16,987 |
| Paluba 7 R. 101 - 146 | 54 | 943,9 | 110,295 | 16,987 |
| Paluba 7 R. 146 – 192 | 52 | 900,93 | 138,015 | 16,987 |
| Paluba 7 ukupno | 216 | 3771,5 | 76,889 | 16,987 |
| Paluba 6 R. -7 - 51 | 50 | 870,66 | 18,686 | 14,551 |
| Paluba 6 R. 51 - 101 | 53 | 900,48 | 56,984 | 14,551 |
| Paluba 6 R. 101 - 146 | 53 | 918,28 | 100,583 | 14,551 |
| Paluba 6 R. 146 – 186 | 44 | 714,01 | 135,141 | 14,551 |
| Paluba 6 ukupno | 200 | 3403,43 | 75,347 | 14,551 |
| Paluba 5 R. -7 - 51 | 44 | 753,92 | 15,611 | 11,887 |
| Paluba 5 R. 51 - 101 | 56 | 950,49 | 58,708 | 11,887 |
| Paluba 5 R. 101 - 146 | 51 | 854,89 | 100,922 | 11,887 |
| Paluba 5 ukupno | 151 | 2559,3 | 60,113 | 11,887 |
| Paluba 4 R. 51 - 101 | 58 | 964,72 | 59,782 | 9,437 |
| Paluba 4 R. 101 - 146 | 49 | 801,53 | 99,681 | 9,437 |
| Paluba 4 ukupno | 107 | 1766,25 | 77,888 | 9,437 |
| Paluba 3 R. 51 - 101 | 56 | 898,94 | 61,161 | 6,987 |
| Paluba 3 R. 101 - 146 | 46 | 731,28 | 98,534 | 6,987 |
| Paluba 3 ukupno | 102 | 1630,22 | 77,909 | 6,987 |
| Paluba 2 R. 51 - 101 | 51 | 813,3 | 62,338 | 4,537 |
| Paluba 2 R. 101 - 146 | 41 | 643,62 | 97,585 | 4,537 |
| Paluba 2 ukupno | 92 | 1456,92 | 77,909 | 4,537 |
| Paluba 1 R. 51 – 101 | 35 | 547,84 | 62,604 | 2,137 |
| Paluba 1 R. 101 – 146 | 31 | 476,03 | 97,703 | 2,137 |
| Paluba 1 ukupno | 66 | 1023,87 | 78,923 | 2,137 |
| Palube 1-9 ukupno | 1370 | 23378,85 | 75,569 | 14,602 |
| Paluba 9 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 44,95 | 56,210 | 21,887 |
| Paluba 8 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 41,17 | 54,006 | 19,437 |
| Paluba 7 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 39,37 | 52,331 | 16,987 |
| Paluba 6 - torovi za bolesnu stoku | 4 | 35,43 | 78,563 | 14,551 |
| Paluba 5 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 37,27 | 66,523 | 11,887 |
| Paluba 4 - torovi za bolesnu stoku | 6 | 30,6 | 90,205 | 9,437 |
| Paluba 3 - torovi za bolesnu stoku | 6 | 30,1 | 87,419 | 6,987 |
| Paluba 2 - torovi za bolesnu stoku | 6 | 29,33 | 86,069 | 4,537 |
| Paluba 1 – torovi za bolesnu stoku | 2 | 15,57 | 86,449 | 2,137 |
| Torovi za bolesnu stoku - ukupno | 44 | 303,79 | 70,230 | 13,42 |
| Napomena: VCG je vertikalna udaljenost od osnovice do pojedine palube, potrebno je dodati VCG životinja iznad razine palube. | | | | |

## *3.3 Oprema za teret*

Živa stoka je specifičan teret kojeg je potrebno na poseban način održavati. Kako bi sva stoka imala redovan pristup hrani, vodi i svježem zraku, a pogotovo kad se radi o velikom broju stoke koja se smještaj na ovaj brod, potrebni su jaki, automatizirani sustavi koji će redovno dobavljati sve potrebne zalihe.

Na ovom brodu se u pramčanom dijelu broda nalaze spremišta stočne hrane. Hrana je u rasutom obliku pa se ona prenosi putem transportera. Na dnu skladišta stočne hrane nalaze se ljevkasti otvori kroz koje hrana pada na horizontalni transporter koji dovodi hranu na vertikalni transporter koji hranu odnosi na najgornju palubu ponovo do horizontalnih transportera. Vertikalni transporter se nalazi na 146. rebru pa se dio hrane na najgornjoj palubi odvodi transporterima prema krmi, a dio drugim transporterima prema pramcu. Ugrađene su tri trake horizontalnih transportera, jedan u sredini i dva sa strane koji dostavljaju hranu do vertikalnih cijevi kroz koje hrana ulazi slobodnim padom u hranilice svakog tora na svim palubama.

Pitka voda smještena je u dvodnu u balastnim tankovima koji su dvojake namjene, ali se isto tako proizvodi iz morske vode pomoću generatora pitke vode. Voda se pumpama i cjevovodima dostavlja do samopunećih pojilica svih torova.

Zbog velikog broja stoke koja se na brodu prevozi, proizvodi se velika količina fekalija koju je potrebno odvesti iz torova. To se vrši pomoću drenažnih cijevi sa otvorima po krmenoj strani bazena koji uokviruje skupinu od 2x10 torova. U koliko je brod na otvorenom moru, gdje je dozvoljeno izbacivanje takvog otpada u more, fekalije se izbacuju u more, inače ih je potrebno odvoditi u za to predviđene tankove u dvodnu broda.

## *3.4 Konstrukcija*

Gradnja 428 izrađena je mješovitim sustavom gradnje. Dvodno i palube su uzdužno orebrene dok su bokovi i pikovi poprečno orebreni. Brod sadrži 6 poprečnih nepropusnih pregrada. 6. paluba je paluba čvrstoće pa u uzdužnoj čvrstoći sudjeluju sve palube do 6. palube. Svo opterećenje s paluba se prenosi preko strukture bokova i upora na dvodno. Bokovi broda iznad 6. palube su potpuno otvoreni pa gornje palube ne sudjeluju u uzdužnoj čvrstoći jer veze između palube 6 i gornjih paluba nisu dovoljno krute. Trup je podijeljen na prostore poprečnim pregradama prema Tablica 6.

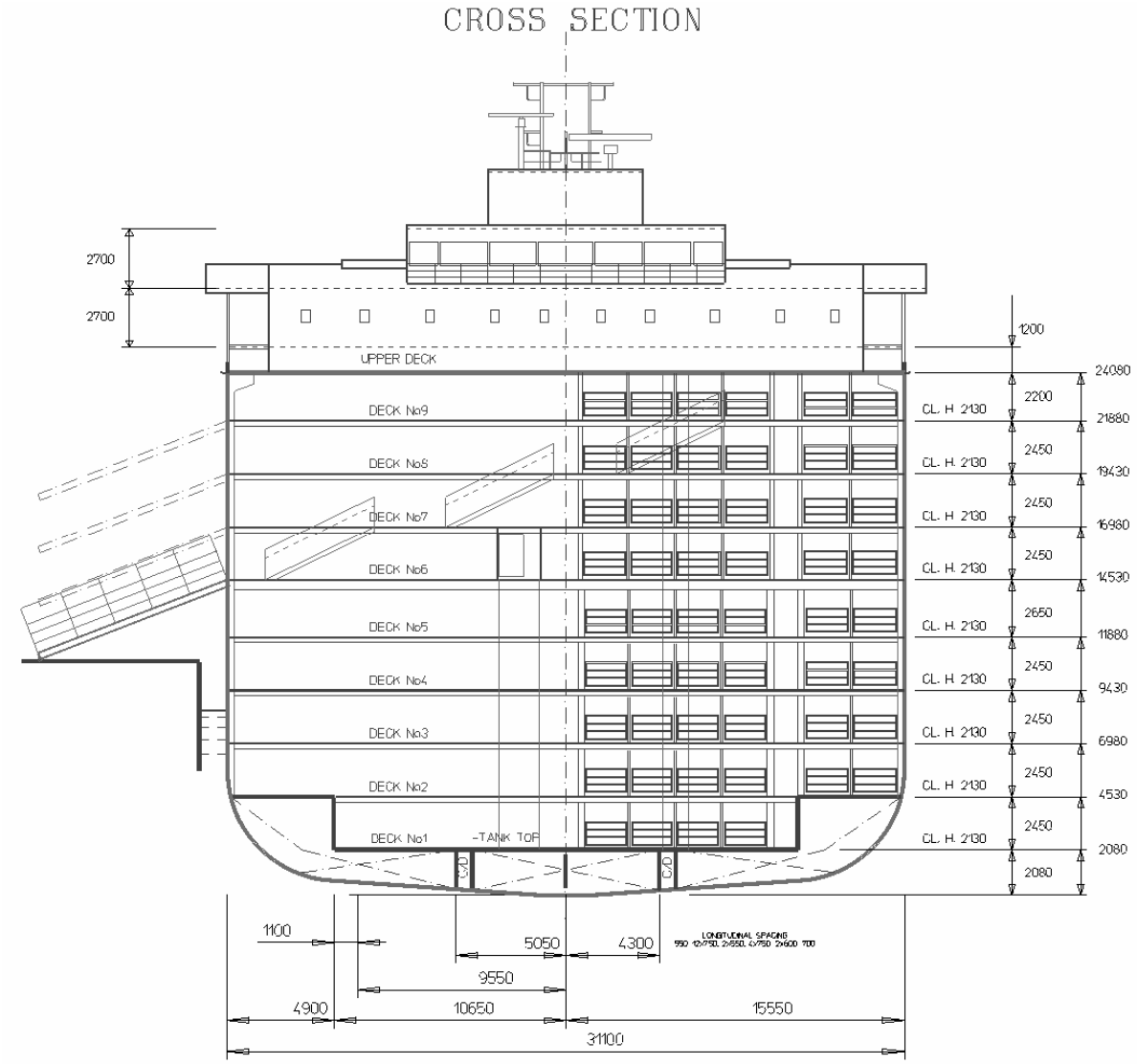
**Tablica 6. Raspored poprečnih pregrada**

| Ime prostora | Razmak između pregrada | |
|---|---|---|
| | I. Rebro | |
| | od | do |
| Krmeni pik | -7 | 19 |
| Strojarnica | 19 | 51 |
| Teretni prostor br. 4 | -7 | 51 |
| Teretni prostor br. 3 | 51 | 101 |
| Teretni prostor br. 2 (do 6. palube) | 101 | 146 |
| Teretni prostor br. 2 (iznad 6. palube) | 146 | 176 |
| Silos stočne hrane (do 6. palube) | 146 | 176 |
| Duboki tank | 176 | 186 |
| Prostor pramčanog porivnika | 186 | 192 |
| Pramčani pik | 192 | 214 |

Raspored paluba i visine između pojedinih paluba dane su u sljedećoj tablici.

**Tablica 7. Raspored paluba i visine međupalublja**

| Paluba br. | Visina od osnovice | Visina između paluba |
|---|---|---|
| 1 | 2080 | 2450 |
| 2 | 4530 | 2450 |
| 3 | 6980 | 2450 |
| 4 | 9430 | 2450 |
| 5 | 11880 | 2650 |
| 6 | 14530 | 2450 |
| 7 | 16980 | 2450 |
| 8 | 19430 | 2450 |
| 9 | 21880 | 2450 |
| 10 (otvorena, gornja paluba) | 24080 | 1200 (u području nadgrađa) |
| 1. paluba nastambi | 27980 | 2700 |
| 2. paluba nastambi i kormilarnica | 30680 | 2700 |




**Slika 4. Poprečni presjek gradnje 428 s rasporedom paluba**

Pokazalo se u praksi da bočna struktura u teretnom prostoru uzrokuje dosta problema u pogledu održavanja, čistoće, ali i sigurnosti tereta. Naime sav otpad koji stoka proizvode ne uspijeva otjecati u drenažne kanale nego se zadržava oko unutarnje strukture na spoju strukture i lima paluba. Osim što se otežava čišćenje, bočna struktura smanjuje korisnu površinu torova . Iz tog razloga predviđen je smještaj strukture boka iznad 6. palube s vanjske strane oplate. Takva izvedba omogućava potpuno ravne bokove unutar teretnog prostora te povećanje korisne površine torova za približno 300 $m^2$.

U posljednjoj tablici ovog poglavlja dani su kapaciteti tankova gradnje 428.

**Tablica 8. Kapaciteti tankova**

| Ime skupine tankova | Volumen ($m^3$) |
|---|---|
| Stočna hrana | 6307,42 |
| Teško gorivo | 1961,73 |
| Diesel gorivo | 201,37 |
| Mazivo ulje | 149,63 |
| Svježa voda (za potrebe stoke) | 2553,98 |
| Balast | 3821,42 |
| Fekalni otpad | 109,07 |
| Sabirni tankovi | 92,92 |

# 4. Projekt

Zadatak projekta je prepraviti postojeći projekt broda u skladu s novim propisima MARPOL [6] i prema zahtjevima brodovlasnika za alternativnom propulzijom. Ovi zahtjevi će prouzrokovati niz promjena koje je potrebno izvesti kako u samoj strukturi trupa tako i u opremi, ali forma i glavne dimenzije novog projekta biti će jednake dimenzijama postojećeg projekta:

| | |
|---|---|
| Duljina preko svega | 176,85 m |
| Duljina između okomica | 165,00 m |
| Širina, teoretska | 31,10 m |
| Visina, teoretska do 6. palube | 14,53 m |
| Visina, teoretska do 10. palube | 24,33 m |
| Gaz, projektni teoretski | 7,7 m |
| Nosivost na projektnom gazu | 10179 t |
| Gaz, proračunski teoretski | 8,45 m |
| Nosivost na proračunskom gazu | 12930 t |
| Glavni stroj | MAN B&W 6S50MC-C |
| Snaga | 9480kW/127 o/min + 2000kW/156 o/min |
| Brzina u službi (90% MCR, 15% SM, gaz 7,7 m) | 19,88 čv |

Brod se projektira kako bi imao dovoljno zaliha za 19 dana plovidbe i dodatnih 3 dana u slučaju kašnjenja. Ovaj podatak je važan jer iz njega proizlazi ukupna potrebna količina hrane i vode za stoku te goriva i ostalih zaliha potrebnih na brodu.

Gradnja 428 projektirana je za prijevoz junadi i ovaca. Iz razloga što je prijevoz junadi mnogo zahtjevniji od prijevoza ovaca (teži teret, veće zalihe hrane i veće opterećenje strukture) svi proračuni i stanja krcanja će se u tom projektnom zadatku izvršiti za prijevoz junadi.

## *4.1 Izmjene*

Gradnja 428 izgrađena i predana brodovlasniku u brodogradilištu 'Uljanik' 2002. godine. Isti brodovlasnik želi naručiti nove brodove za prijevoz žive stoke koje će se projektirati i graditi u 'Uljaniku'. Novi brodovi su drugačijih dimenzija i sa nizom izmjena koje je bilo potrebno napraviti bilo zbog novih propisa ili zahtjeva naručitelja. Neka od tih rješenja će se primijeniti i kod ovog projekta.

Prvi zahtjev prema kojem je potrebno izmijeniti postojeći projekt su nova pravila MARPOL. Pravila se odnose na zaštitu okoliša od zagađenja i odnose se na strukturne tankove goriva koji se nalaze na vanjskoj oplati. Proračunom i razmještajem tankova potrebno je dokazati da će vjerojatnost istjecanja goriva iz tankova u slučaju oštećenja biti manja od dozvoljene vrijednosti.

Drugi zahtjev je zahtjev naručitelja za alternativnom propulzijom. Alternativna ili redundantna propulzija po niti jednom propisu nije obvezatna. Razlog zašto se ona zahtjeva leži u ekonomskoj računici brodovlasnika. Naime, živa stoka je vrlo osjetljiv teret. Smrtnost stoke na putovanjima, koliko god umanjena, postoji i nije zanemariva. Stoka se nalazi u neprirodnom okolišu, težim uvjetima, skučenom prostoru pa je rizik od stradavanja stoke izražen. Rizik je kud i kamo veći u slučaju kvara pojedinog sustava na brodu koji služi za opskrbu stoke. Isto tako u slučaju kvara glavnog pogona i nemogućnost popravljanja istog vjerojatno će doći

razbolijevanja stoke i ugibanja jer se zalihe hrane za stoku na brod ukrcavaju u određenim količinama koliko je stoci potrebno za to putovanje. Sve to značajno povećava rizik da će teret biti 'oštećen' što brodovlasnika može skupo stajati. Teret se osigurava, ali je zbog velikog rizika osiguranina velika. Zbog toga brodovlasnik nastoji naručiti brod koji će imati dovoljno redundancije (pomoćni pogon, alternativni sustavi za snabdijevanje životinja, itd.) jer će za takav – sigurniji brod, plaćati manju osiguraninu, a dodatni novac koji je uložen u ugradnju dodatnih sustava, biti će vraćen tokom godina kroz umanjene troškove osiguranja tereta.

### 4.1.1 Propisi MARPOL Annex I, Regulation 13A

'Regulation 13A' MARPOL propisa odnosi se na zaštitu od istjecanja goriva iz tankova. Prema [6] slijedi:

1 "Ovi propisi se odnose na sve brodove kojih je ukupni kapacitet tankova goriva veći ili jednak 600 $m^3$ i:
   .1 za koje je ugovor sklopljen na ili nakon 1. kolovoza 2007.; ili
   .2 u koliko nema ugovora, za koje je položena kobilica ili su u sličnoj fazi gradnje na ili nakon 1. veljače 2008.;
   .3 na brodove čija isporuka će biti na ili nakon 1. kolovoza 2008.;
   .4 na brodove na kojima se radi konverzija", itd.

.
.
.

4 "Ova pravila se moraju primijeniti na sve tankove goriva osim na male tankove (mali tank goriva je tank goriva sa maksimalnim kapacitetom od 30 $m^3$) pri čemu ukupni kapacitet tih tankova nije veći od 600 $m^3$.

5 Individualni tankovi goriva ne smiju biti kapaciteta većeg od 2500 $m^3$."

Općenito, propisi zahtijevaju da svi tankovi goriva veći od 30 $m^3$ maknu od vanjske oplate za iznos definiran u propisima, tj. nije ih moguće smjestiti u dvodnu broda nego je potrebno naći alternativnu lokaciju. Dakle, tankove bi trebalo udaljiti od oplate za dimenzije definirane u točkama 6, 7 i 8 propisa [6]. Druga varijanta je da se proračunom prema točki 11 pokaže da je vjerojatnost istjecanja goriva manja od zahtijevane vjerojatnosti za određeni raspored tankova goriva. Ovaj proračun će biti dan kasnije za različite kombinacije smještaja strukturnih tankova goriva.

### 4.1.2 Zahtjev brodovlasnika

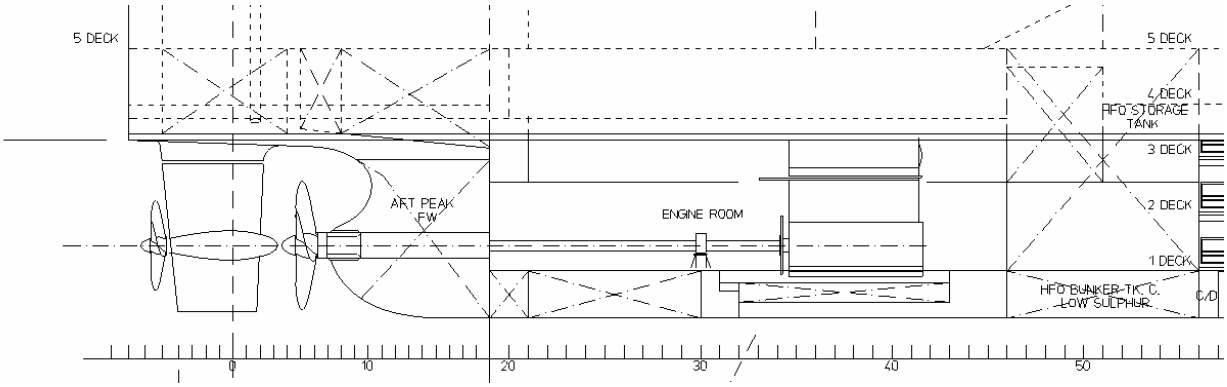
Brodovlasnik u skladu sa svojom poslovnom politikom traži rješenja koja će mu omogućiti kupovinu kvalitetnog, sigurnog i funkcionalnog broda, ali prije svega ekonomski isplativog. Kako je već prije objašnjeno, isplativost je glavni razlog izmjena na ovom projektu.

Brod je namijenjen za prijevoz žive stoke od jednog do drugog mjesta. Za smještaj hrane na brodu predviđen je skladišni tank za onu količinu stoke i onaj broj dana koji će biti potreban da brod prevali predviđenu rutu pri čemu se u obzir uzimaju 3 dana rezerve predviđene propisima [4]. Ugradnja većeg skladišnog tanka uzrokovat će smanjenje korisnog prostora za smještaj tereta i time smanjiti isplativost broda. S takvim ustrojem biti će nužno da brod

pristigne u predviđenu luku iskrcaja u zadanom roku. Ako se brodu s jednim pogonom dogodi kvar u plovidbi koji može potrajati i nekoliko dana, vrlo je izvjesno da dio stoke neće izdržati 'gladovanje' te će uginuti prije dolaska u luku.

Redundancija u smislu pogona broda ili bilo kojeg drugog sustava pruža veću sigurnost i smanjuje rizik ugibanja stoke. U koliko dođe do kvara glavnog stroja, brod može uz pomoć alternativne propulzije doći u luku iskrcaja. Za to će biti potrebno nešto više vremena nego s glavnim pogonom, ali neće doći do većeg stradavanja stoke i brodovlasnik će moći biti siguran da će teret biti isporučen.

Alternativna propulzija je bilo kakav tip propulzije koji može pokretati brod određenom zahtijevanom brzinom pri čemu brod ima adekvatnu upravljivost. Pomoćna propulzija po snazi najčešće iznosi dvadesetak posto snage glavnog pogona. Projektanti i inženjeri u 'Uljaniku' su isprobavali različite varijante alternativne propulzije za ovakav tip broda. Došlo se do zaključka, u dogovoru s brodovlasnikom, da je najbolja varijanta alternativne propulzije aktivno kormilo. Aktivno kormilo je kormilo u kojem je ugrađen pomoćni propulzor. U samom kormilu nalazi se mehanički prijenos koji okretni moment na vijak prenosi sa pogonskog elektromotora. Elektromotor je pogonjen el. energijom koja se proizvodi pomoću generatora koji se nalaze u zasebnoj strojarnici. Na taj način je pomoćna propulzija potpuno nezavisna od glavne strojarnice. S obzirom da predviđeni pogon može raditi istovremeno kad i glavni pogon i na taj način povećati ukupnu isporučenu snagu pa time i brzinu broda, glavni pogonski stroj je umanjen za jedan cilindar s obzirom na postojeći projekt (gradnju 428) kako bi se smanjili troškovi za nabavu glavnog pogona. Predviđeno je da brod plovi samo s glavnim pogonom pri čemu će brzina biti nešto manja nego kod postojećeg projekta (kasnije će se iz prognoze otpora vidjeti kolika bi ta brzina mogla biti), ali u slučaju kašnjenja, moguće je uključiti i pomoćnu propulziju pri čemu će brod povećati brzinu i izbjeći kašnjenje.




**Slika 5 . Prikaz kombinirane propulzije – glavnog pogonskog stroja i pomoćnog aktivnog kormila**

Troškovi zbog gradnje pomoćnog pogona nisu zanemarivi, ali će takva propulzija kroz godine omogućiti mnoge uštede koje će zasigurno isplatiti ulaganja u ovakvo rješenje. Kao što je već spomenuto, smanjit će se osiguranina za teret. Aktivno kormilo ima veliki kut otklona pa se može koristiti kao krmeni bočni porivnik, a sa pramčanim porivnikom (koji je ugrađen i na postojećem projektu) daje brodu veliku upravljivost i omogućuje mu manevriranje bez pomoći remorkera pa će i tu doći do uštede jer brodovlasnik neće morati plaćati remorkere.

Ovakav način propulzije zahtjeva ugradnju novih sustava i opreme što će zahtijevati određene strukturne izmjene koje će biti vidljive u općem planu. Potrebno je predvidjeti prostor za pomoćnu strojarnicu, a postojeća strojarnica će se smanjiti.

## *4.2 Pogon broda*

Glavni pogonski uređaj na postojećem brodu predstavlja dvotaktni sporohodni dieselski motor. Takvo rješenje je uobičajeno na većini brodova jer je, naravno, najisplativije i najpouzdanije. Kao što je već spomenuto, zahtjev brodovlasnika je da novi projekt sadrži alternativnu propulziju tj. redundantnu propulziju koja će povećati sigurnost i samostalnost broda. Takav pogon zahtjeva dodatne troškove jer je potrebno ugraditi novu strojarnicu sa svim potrebnim uređajima za pogon, a površina koju zauzima strojarnica umanjuje korisnu površinu za smještaj tereta pa je i to dugoročno znatni trošak. Potrebno je, dakle, pronaći odgovarajuće rješenje kako bi brod postigao zahtijevanu brzinu. Prije svega potrebno je odrediti prognozni dijagram.

### 4.2.1 Preliminarni prognozni dijagram

Najprije valja razmotriti postojeći projekt. Na gradnji 428 ugrađen je MAN B&W dieselski motor snage 11060 kW kojim brod postiže brzinu od 19.8 čv u službi. Prognozni dijagram gradnje 428 dan je u sljedećoj tablici. Proračun je proveden programom 'Seaking' koji se koristi u brodogradilištu 'Uljanik', odnosno podsustavom, tj. aplikacijom 'speed.exe'.

**Tablica 9. Ulazni podaci za prognozni dijagram – gradnja 428**

| GRADNJA 428 MAN B&W 7S50MC-C 90% MCR 9954kW | | | |
|---|---|---|---|
| TRUP: | | | |
| Doling vodne linije | $L_{WL}$ | 169,6 | m |
| Duljina između okomica | $L_{PP}$ | 165 | m |
| Širina | $B_M$ | 31,1 | m |
| Projektni gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Blok koeficijent | $C_B$ | 0,514 | |
| Koeficijent punoće glavnog rebra | $C_M$ | 0,91 | |
| Položaj težišta istisnine od $L_{PP}/2$ | | -2,330 | m |
| BULB | | DA | |
| Srednji gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Gaz na krmi | $T_A$ | 7,7 | m |
| Gaz na pramcu | $T_F$ | 7,7 | m |
| Istisnina | V | 20609 | $m^3$ |
| | | | |
| STROJ: | | | |
| Snaga na kočnici (u KS) | $P_B$ | 13537 | KS |
| Broj okretaja | $N_M$ | 127 | o/min |
| | | | |
| PROPELER: | | | |
| Broj propelera | | 1 | |
| Broj krila propelera | | 4 | |
| Broj okretaja | $N_T$ | 127 | o/min |
| Rezerva snage za službu | $S_M$ | 15 | % |

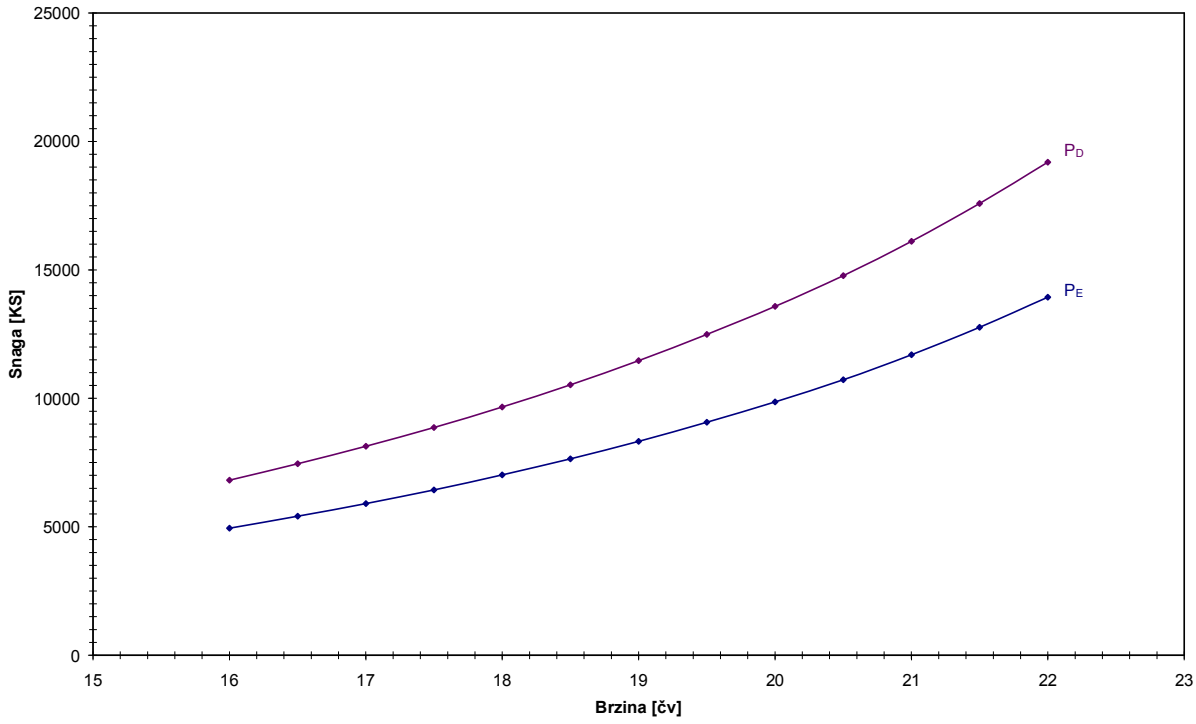
**Napomena:** Proračun je proveden aplikacijom 'speed.exe'. Ispitivanjem mjerne milje na pokusnoj plovidbi gradnje 428 pokazalo se da stvarna brzina odstupa za određeni iznos od brzine predviđene ovom aplikacijom, stoga je potrebno dobiveni iznos brzine pomnožiti s korekcijskim faktorom. Korekcijski faktor između prognoze brzine dobivene aplikacijom 'speed.exe' i brzine na pokusnoj plovidbi je 1.03, tj. brzina na pokusnoj plovidbi se pokazala

većom nego brzina predviđena ovom aplikacijom. Prognozni dijagram i podaci za prognozni dijagram nisu korigirani sa spomenutim faktorom.

**Tablica 10. Izlazni podaci i prognozni dijagram – gradnja 428**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Brzina na pokusnoj plovidbi | $V_T$ | = | 20,00 (x 1,03 = 20,6) | čv |
| Brzina u službi | $V_S$ | = | 19,18 (x 1,03 = 19,76) | čv |
| Isporučena snaga | $P_{DT}$ | = | 13300 | KS |
| Broj okretaja | $N_T$ | = | 127 | o/min |
| Promjer propelera | D | = | 5,79 | m |

| BROD | | | | | POKUSNA PLOVIDBA | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brzina | Froudeov broj | Preostali otpor | Efektivna snaga | Isporučena snaga | Broj okretaja | Isporučena snaga |
| V | $F_{nL}$ | $10^3C_R$ | $P_E$ | $P_D$ | $N_T$ | $P_{DT}$ |
| čv | | | KS | KS | o/min | KS |
| 16 | 0,218 | 0,647 | 4945 | 6812 | 101 | 6666 |
| 16,5 | 0,218 | 0,647 | 5411 | 7454 | 104 | 7295 |
| 17 | 0,218 | 0,647 | 5905 | 8135 | 107 | 7961 |
| 17,5 | 0,221 | 0,65 | 6436 | 8867 | 110 | 8677 |
| 18 | 0,227 | 0,659 | 7016 | 9664 | 113 | 9458 |
| 18,5 | 0,233 | 0,673 | 7643 | 10529 | 117 | 10304 |
| 19 | 0,24 | 0,692 | 8325 | 11468 | 120 | 11223 |
| 19,5 | 0,246 | 0,716 | 9068 | 12492 | 123 | 12225 |
| 20 | 0,252 | 0,74 | 9860 | 13582 | 127 | 13292 |
| 20,5 | 0,259 | 0,771 | 10726 | 14776 | 131 | 14460 |
| 21 | 0,265 | 0,814 | 11697 | 16114 | 134 | 15769 |
| 21,5 | 0,271 | 0,863 | 12767 | 17588 | 138 | 17212 |
| 22 | 0,277 | 0,918 | 13933 | 19193 | 142 | 18783 |




**Slika 6. Prognozni dijagram za gradnju 428**

Iz prognoze brzine gradnje 428 vidljivo je da je predviđena brzina u službi 19.8 čv za predviđenu ugrađenu snagu. Postavlja se pitanje kako za projekt ispuniti zahtjev da ostvari brzinu koja je predviđena za postojeći projekt, a da se pri tom ugradi alternativna propulzija koja će ujedno biti ekonomična. Pri tom 'ekonomična' znači da rješenje alternativne propulzije mora dugoročno vratiti novac brodovlasniku, koji je uložen u ovakvo rješenje, kroz smanjenu osiguraninu i ostale troškove koji će se umanjiti zbog pomoćne propulzije. Dugoročni profit brodovlasnika zbog ulaganja u alternativnu propulziju je glavni razlog zahtjeva za alternativnom propulzijom. Neki od razloga zašto se projekt poskupljuje ugradnjom pomoćne propulzije, s obzirom na postojeći, su sljedeći:

- dva pogonska stroja, bez obzira na omjer snaga su uvijek skuplja nego jedan stroj čija je snaga jednaka zbroju snaga dva manja stroja,
- svaki pogonski stroj zahtjeva svoju strojarnicu s potpuno odvojenim sustavima motora (sustav goriva, ulja za podmazivanje, hlađenje, ventilacije, itd.),
- nova strojarnica zahtjeva prostor, prostor koji je bio korisni prostor za prijevoz tereta,
- poskupljuje se održavanje (više nije jedna nego dvije strojarnice), itd.

Postoje dva moguća rješenja:

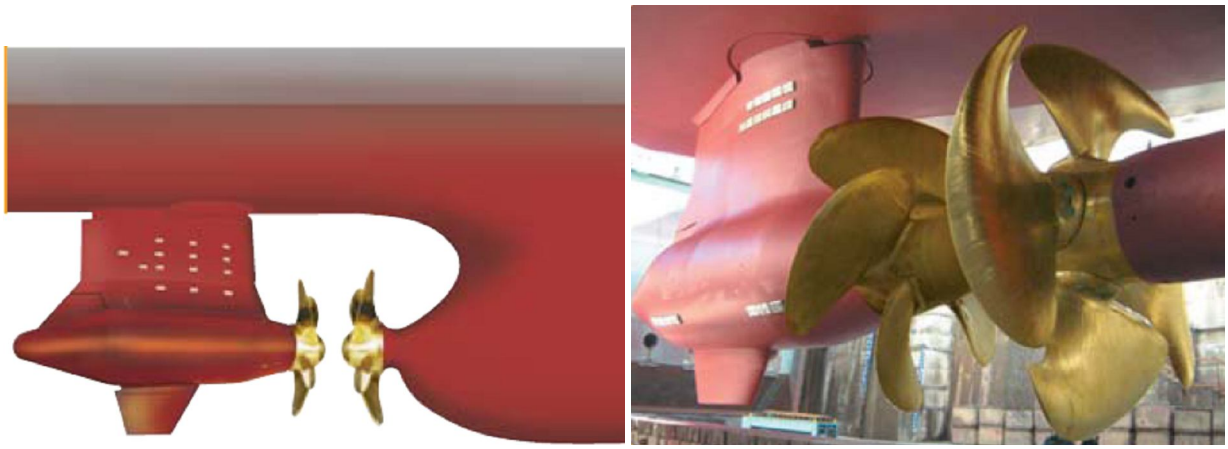
1. ugradnja dvije simetrične strojarnice, potpuno odvojene, s dva pogonska stroja jednakih snaga;
2. uz postojeću strojarnicu sa glavnim pogonskim strojem ugraditi manju strojarnicu u kojoj će biti svi uređaji potrebni za pogon vijka pomoćne propulzije u aktivnom kormilu – POD, tzv. azimutni propeler ili porivnik. Za pogon aktivnog kormila koristi diesel-električni prijenos.

Oba rješenja mogu zadovoljiti zadane zahtjeve, ali potrebno je odabrati ekonomičnije rješenje.

### 4.2.2 Usporedba varijanti pogona za kontejnerski brod nosivosti 12000 TEU

U članku [7] pronađenom na internet adresi proizvođača 'ABB Industry' dana je usporedba 3 varijante pogona za velike kontejnerske brodove:

1. pogon broda s glavnim dieselskim motorom i kontrarotirajućim azimutnim porivnikom s diesel- električnim prijenosom,
2. pogon broda s dva dieselska motora jednakih snaga i s dva propelera,
3. pogon broda uz pomoć jednog dieselskog motora i s jednim propelerom.



**Slika 7. Izvedbe kombiniranog pogona s glavnim pogonskim strojem i pomoćnim Azipod-om**

Iako podatke iz tog članka treba uzeti s određenom rezervom, indikativni su podaci koji ukazuju na prednosti propulzije koja kombinira glavni dieselski motor kao osnovni pogon i azimutni propeler kao pomoćni pogon. U sljedećim tablicama koje su preuzete iz istog članka, dana je usporedbena ekonomska analiza za sva tri načina pogona za kontejnerski brod nosivosti 12000 TEU. Prema podacima iz članka, za navedena rješenja provedena su ispitivanja u bazenu u 'Samsung Ship Model Basin' u Južnoj Koreji pri čemu se pokazalo da je hidrodinamički najpovoljnije rješenje s azimutnim porivnikom što omogućuje postizanje zadane brzine sa najmanjom ugrađenom snagom.



***Figure 2.*** *CRP Azipod® model.*

***Figure 3.*** *Twin-screw twin-skeg model.*

***Figure 4.*** *Single-screw model.*

**Slika 8. Pojedini tipovi pogona na modelu kontejnerskog broda**

**Tablica 11. Glavne dimenzije kontejnerskog broda nosivosti 12000 TEU**

| Main Dimension | CRP | Twin ME | Single ME |
|---|---|---|---|
| Length [m] | 380 | 380 | 380 |
| Breadth [m] | 54.4 | 54.4 | 54.4 |
| Depth [m] | 27.3 | 27.3 | 27.3 |
| Draught [m] | 14.8 | 14.8 | 14.8 |
| DWT [MT] | 157 000 | 157 000 | 157 000 |
| Gross Tonnage [MT] | 158 500 | 159 100 | 158 500 |

**Tablica 12. Predviđeni troškovi u eksploataciji kontejnerskog broda nosivosti 12000 TEU**

| Main Engine Data | CRP | Twin ME | Single ME |
|---|---|---|---|
| Main engine(s) | 1 x Sulzer 10RTA96C | 2 x Sulzer 8RTA96C | 1 x 15K98MC |
| Main engine MCR [kW] | 57 200 | 91 520 | 85 800 |
| Sea margin [%] | 30 % | 30 % | 30 % |
| Main engine loading | 90 % | 87 % | 90 % |
| Azipod unit power [kW] | 20 550 | - | - |
| Power Split, ME and Azipod | 71 % / 29 % | - | - |
| Total installed propulsion power [kW] | 82 018 | 91 520 | 85 800 |
| **Auxiliary Engine Data** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Auxiliary engines | 3 * 12V46A / 2 * 6L46A | 5 * 8L32 | 5 * 8L32 |
| Auxiliary engine MCR / Total power [kW] | 10 860/32 580 5 430/10 860 | 3600 / 18 000 | 3600 / 18 000 |
| Total installed Aux engine power [kW] | 43 440 | 18 000 | 18 000 |
| N.o. of aux engines in normal operation | 4 | 4 | 4 |
| Auxiliary engine loading | 85 % | 76 % | 72 % |
| Total installed engine power [kW] | 100 640 | 109 520 | 103 800 |
| | 100 % | 109 % | 103 % |
| **Auxiliary and Service Load** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Service load [kW] | 1 500 | 2 500 | 2 000 |
| Bow thruster load [kW] | 0 | 4 400 | 4 400 |
| Reefer load [kW] | 8 000 | 8 000 | 8 000 |
| Total needed aux and service power [kW] | 10 995 | 17 245 | 16 667 |
| **Losses** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Shaftline losses [%] | 2 % | 2 % | 2 % |
| Electric losses for propulsion [%] | 8 % | - | - |
| Electric losses for service and auxiliary [%] | 4 % | 4 % | 4 % |
| **Operation Cost calculation data** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Annual operating hours [h] | 6 000 | 6 000 | 6 000 |
| Operating brake power, Main engine | 51 338 | 79 714 | 77 382 |
| Operating brake power, Aux engines for pod | 22 336 | - | - |
| Operating brake power, Aux engines for service | 9 896 | 10 938 | 10 417 |
| Main engine SFOC [g/kWh] | 166.8 | 166.8 | 166.8 |
| Aux engine SFOC [g/kWh] | 172 | 183 | 183 |
| HFO price [USD/t] | 150 | 150 | 150 |
| LCV (Lower Calorific Value) [kJ/kg] | 42 700 | 42 700 | 42 700 |
| LO price main engine [USD/t] | 1 000 | 1 000 | 1 000 |
| LO price pod and auxiliary engine [USD/t] | 1 000 | 1 000 | 1 000 |
| SFOC LO ME [g/kWh] | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| SFOC LO Aux engine [g/kWh] | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Specific maintenance cost ME [USD/MWh] | 0.66 | 0.69 | 0.59 |
| Specific maintenance cost Aux engine [USD/MWh] | 2.00 | 2.40 | 2.40 |

U ovoj ekonomskoj analizi je pretpostavljena jedna cijena goriva za sva tri slučaja. Dana cijena je cijena teškog goriva. Svi odabrani motori (glavni i pomoćni) mogu se pogoniti na teško gorivo. Dakle, prednost kombiniranog načina pogona s obzirom na ostale načine pogona ostaje bez obzira na porast cijene goriva.

**Tablica 13. Troškovi nabave porivnih strojeva**

| Diesel Engine First Cost | CRP | Twin ME | Single ME |
|---|---|---|---|
| Total installed diesel engine power (ME + Aux) [kW] | 100 640 | 109 520 | 103 800 |
| | 100 % | 109 % | 103 % |
| Total main engine price [USD] | 12 012 000 | 19 219 200 | 18 018 000 |
| Total Aux engine price [USD] | 9 122 400 | 3 780 000 | 3 780 000 |
| Total diesel engine price [USD] | 21 134 400 | 22 999 200 | 21 798 000 |
| Difference in USD | 0 | 1 864 800 | 663 600 |

**Tablica 14. Godišnji eksploatacijski troškovi goriva, maziva i razlika između pojedinih sustava**

| Fuel Costs | CRP | Twin ME | Single ME |
|---|---|---|---|
| Main engine, annual fuel consumption [t] | 51 379 | 79 778 | 77 444 |
| Annual fuel consumption pod [t] | 23 051 | - | - |
| Annual fuel consumption auxiliary [t] | 10 213 | 12 009 | 11 438 |
| Total annual fuel consumption [t] | 84 642 | 91 787 | 88 881 |
| Total annual fuel cost [USD] | 12 696 360 | 13 768 054 | 13 332 186 |
| Relative difference | 100 % | 108 % | 105 % |
| Difference in USD | 0 | 1 071 693 | 635 826 |
| **Lub Oil Costs** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Main engine, annual LO consumption [t] | 339 | 526 | 511 |
| Aux engines, annual LO consumption pod [t] | 80 | - | - |
| Aux engines, annual LO consumption auxiliary [t] | 36 | 39 | 38 |
| Total annual LO consumption [t] | 455 | 565 | 548 |
| Total annual LO cost [USD] | 454 865 | 565 487 | 548 220 |
| Relative difference | 100 % | 124 % | 121 % |
| Difference in USD | 0 | 110 622 | 93 356 |
| **Maintenance Costs** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Main engine, annual maintenance cost [USD] | 226 512 | 378 893 | 303 732 |
| Auxiliary engines, annual maintenance cost [USD] | 456 120 | 207 360 | 207 360 |
| Total annual maintenance costs [USD] | 682 632 | 586 253 | 511 092 |
| Relative difference | 100 % | 86 % | 75 % |
| Difference in USD | 0 | -96 379 | -171 540 |
| **Total Operation Costs** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Total fuel, LO and maintenance cost [USD] | 13 833 857 | 14 919 793 | 14 391 498 |
| Relative difference | 100 % | 108 % | 104 % |
| Difference in USD | 0 | 1 085 936 | 557 641 |

Iz posljednjeg retka prethodne dvije tablice očita je razlika kako u cijeni nabave pojedinih sustava pogona tako i u iznosu operativnih troškova. Prednost je na strani kombiniranog pogona sa jednim glavnim strojem i azimutnim porivnikom.

**Tablica 15. Operativni troškovi i troškovi goriva i mazivog ulja po MWh**

| Operation Cost calculation data | CRP | Twin ME | Single ME |
|---|---|---|---|
| Specific maintenance cost ME [USD/MWh] | 0,66 | 0,69 | 0,59 |
| Specific maintenance cost Aux engine [USD/MWh] | 2,00 | 2,40 | 2,40 |
| Specific maintenance cost total [USD/MWh] | 2,66 | 3,09 | 2,99 |
| **Total Fuel Oil and Lub Oil Costs** | **CRP** | **Twin ME** | **Single ME** |
| Total fuel and LO cost [USD] | 13.151.225 | 14.333.540 | 14.184.138 |
| Total fuel and LO cost [USD/MWh] | 21,78 | 21,81 | 22,77 |

Tablica 15 pokazuje da veličina pojedinih troškova u odnosu na instaliranu snagu i broj radnih sati također ide u korist kombiniranom načinu pogona.

U članku se navode sljedeće prednosti azimutnog porivnika pred ostalim načinima pogona:

1. Tehničke prednosti:
   - Jednostavna ugradnja u brodogradilištu
   - Dva nezavisna pogona omogućuju visoki stupanj redundancije
   - Nema potrebe za krmenim bočnim porivnikom
   - Fleksibilni opći plan (smještaj strojarnice za pogon azimutnog propulzora)
   - Manji pulsirajući pritisci na trup broda
   - Prilagodljivost pogona radi postizanja odgovarajuće snage za poriv

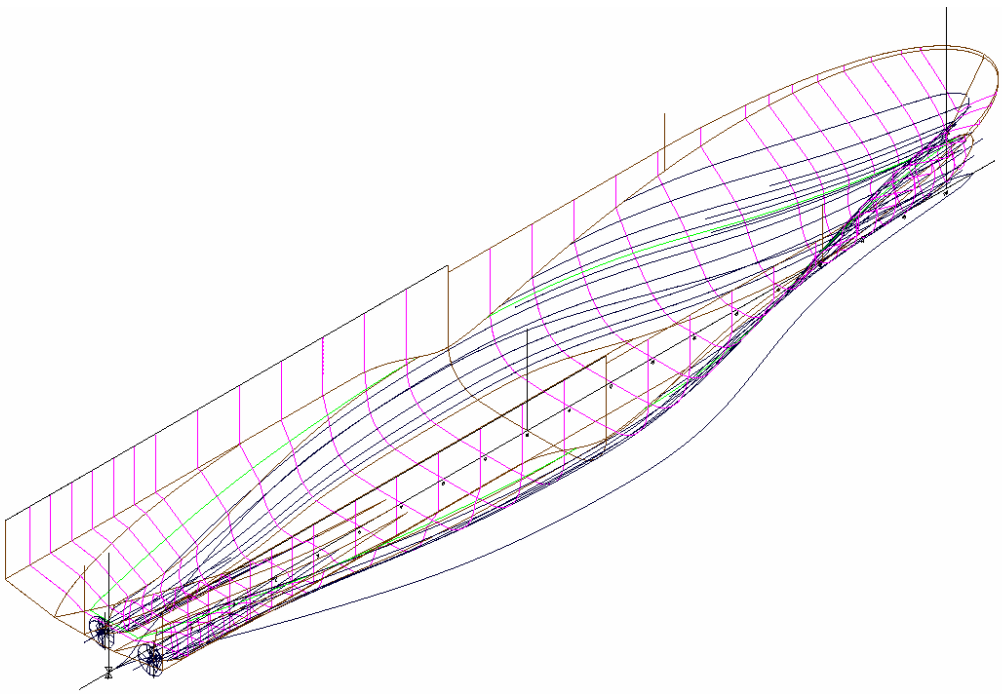
2. Eksploatacijske prednosti:
   - Manji utrošak goriva
   - Manje emisija, ekološki prihvatljiviji pogon
   - Bolja upravljivost u lukama, kanalima uz znatne uštede vremena
   - Manja potreba za remorkerima u lukama
   - Veća sigurnost u slučaju havarije glavnog stroja

3. Ekonomske prednosti:
   - Veća korisnost propulzije što smanjuje potrošnju goriva
   - Veći prostor raspoloživ za smještaj tereta

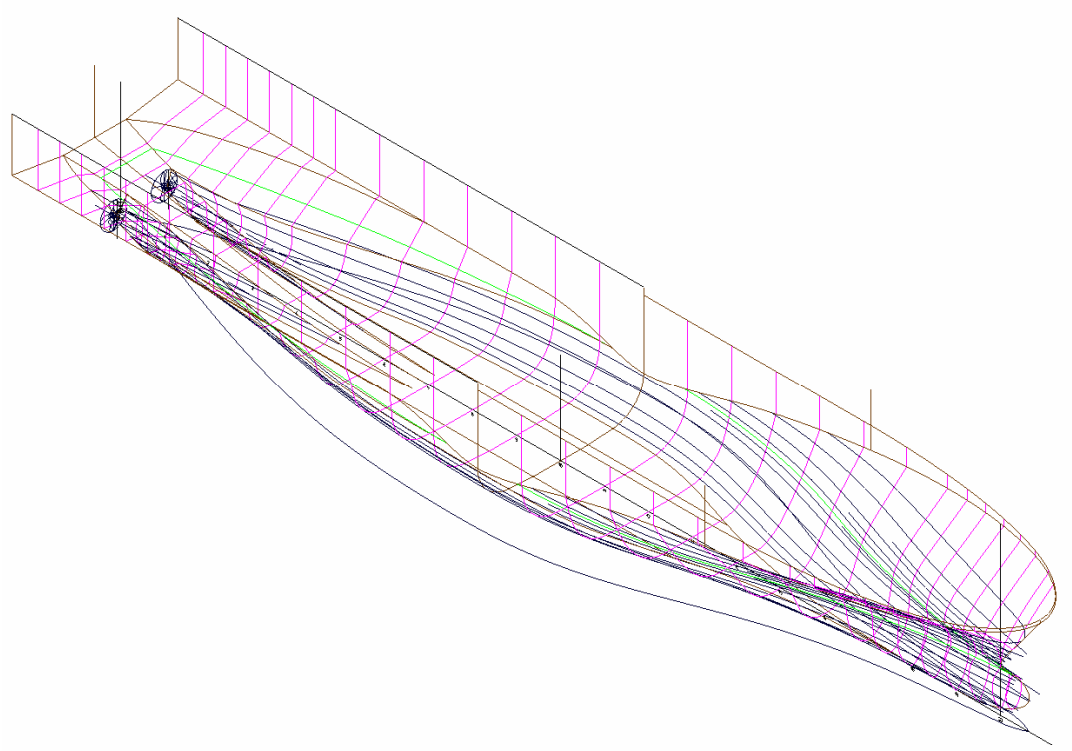
Ovi podaci su, naravno, na strani proizvođača navedenog tipa pogona, ali sljedeći usporedbeni proračun pokazat će da su uštede na ugrađenoj snazi, prostoru i masi zaista na strani pogona u kombinaciji sa aktivnim kormilom.

### 4.2.3 Pogon pomoću dva stroja jednakih snaga – dvostruka strojarnica

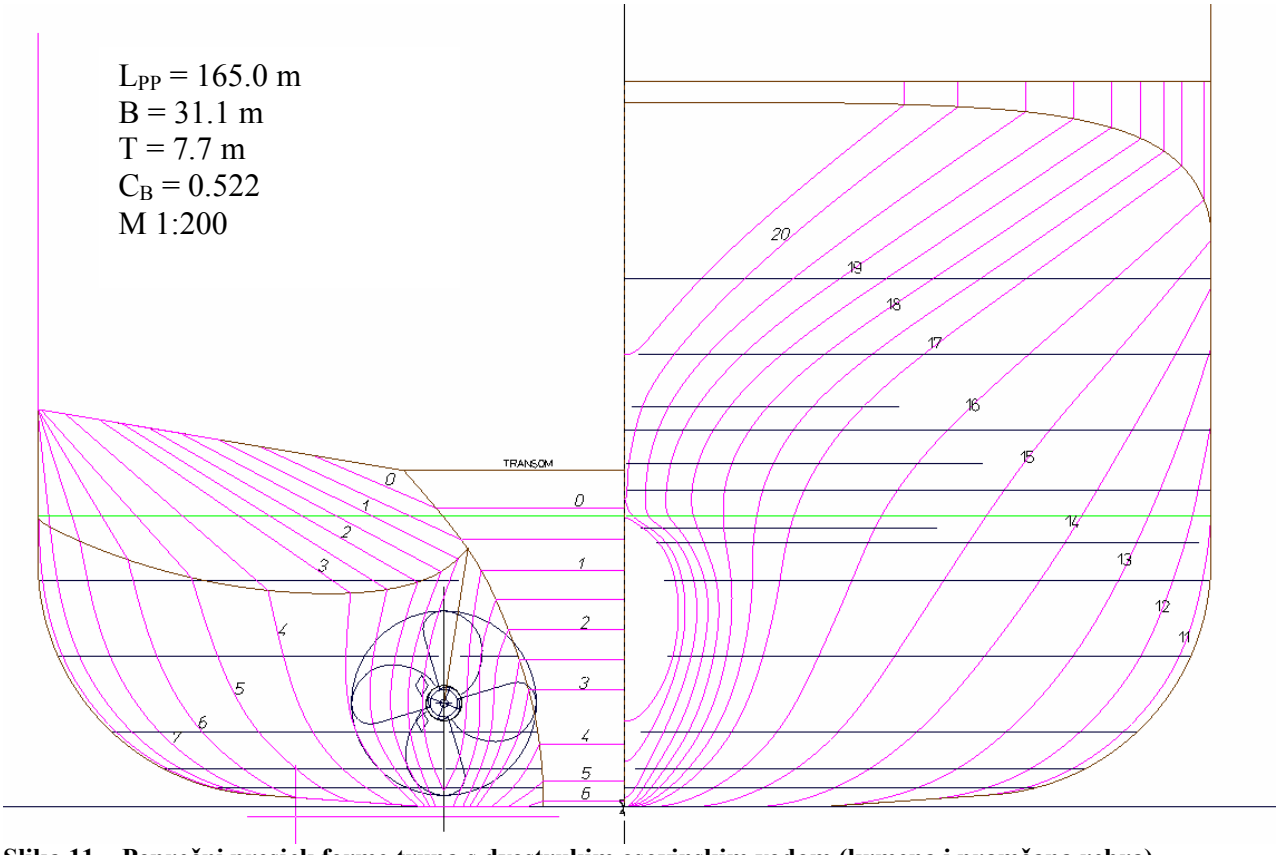
Prvo rješenje podrazumijeva ugradnju dva pogonska stroja jednakih snaga. U slučaju kvara jednog stroja ili strojarnice, druga strojarnica, potpuno nezavisna od prve, omogućila bi brodu sigurno pristizanje do bliže luke, s nešto smanjenom brzinom, ali bez opasnosti od stradavanja stoke. Ovakvo rješenje zahtjeva drugačiju formu trupa, odnosno potrebno je krmeni dio prilagoditi za dva osovinska voda i dva propelera. Na sljedećim slikama prikazan je 3D žičani model takve forme iz različitih pogleda.



**Slika 9. 3D prikaz forme trupa s dvostrukim osovinskim vodom (pogled s krme)**



**Slika 10. 3D prikaz forme trupa s dvostrukim osovinskim vodom (pogled s pramca)**




**Slika 11. Poprečni presjek forme trupa s dvostrukim osovinskim vodom (krmena i pramčana rebra)**

Sljedeće tablice sadrže podatke o predviđenoj brzini broda za definiranu ukupnu snagu.

**Napomena:** Dobivene brzine proračunom prognoze otpora, potrebno je pomnožiti s korekcijskim faktorom koji je iskustveni faktor dobiven usporedbom brzine broda na pokusnoj plovidbe i brzine dobivene proračunom uz pomoć aplikacije 'speed.exe'. Pokusna plovidba broda s formom trupa, koja je slična gore prikazanoj, pokazala je da je iskorištenje snage veće nego što je to predviđeno proračunom. Korekcijski faktor za ovu varijantu pogona iznosi 1.03. Prognozni dijagram i podaci za prognozni dijagram nisu korigirani sa spomenutim faktorom.

Predviđeni motori za pogon broda s dvije odvojene strojarnice su motori proizvođača MAN B&W. Značajke motora [8]:

| | |
|---|---|
| Tip motora: | 5S46MC-C8 |
| Snaga na prirubnici motora (na kočnici): | 6900 kW |
| Broj okretaja: | 129 o/min |
| Srednji efektivni tlak: | 20,0 bar |
| Specifična potrošnja goriva: | 174 g/kWh |

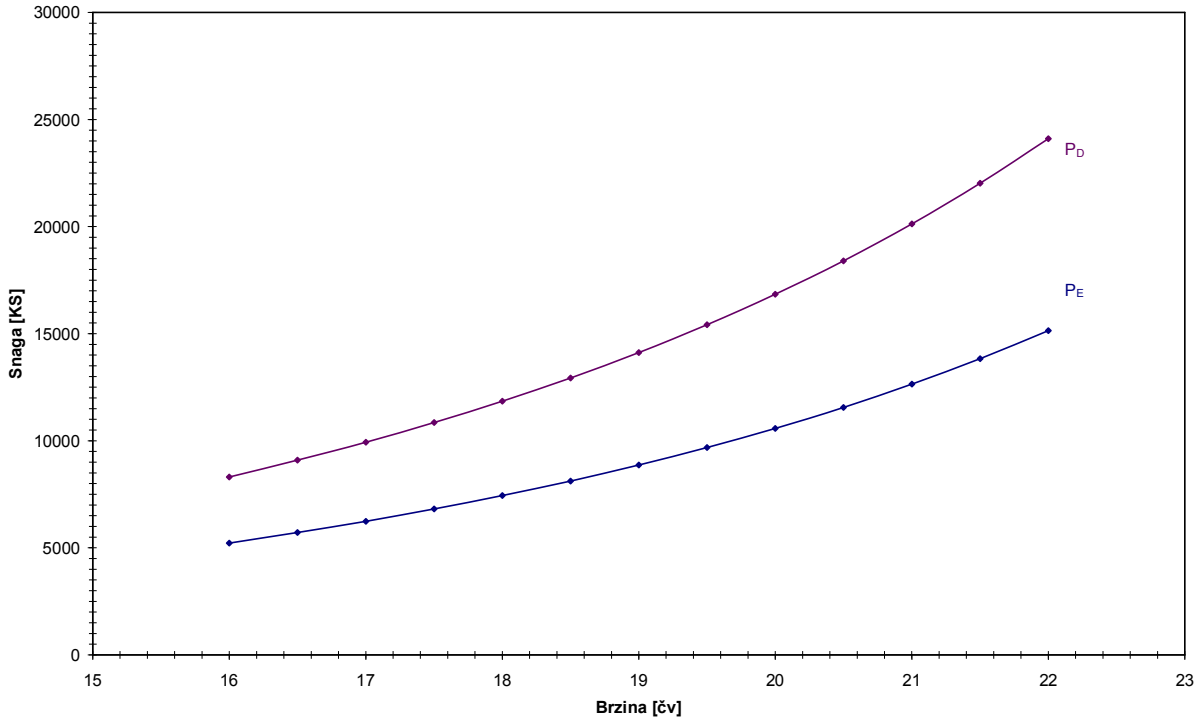
**Tablica 16. Ulazni podaci za prognozni dijagram – dva pogonska stroja 2x 5S46MC-C8**

| GLAVNI STROJEVI 2x 5S46MC-C8 90% MCR 6210 kW | | | |
|---|---|---|---|
| TRUP: | | | |
| Duljina vodne linije | $L_{WL}$ | 169,6 | m |
| Duljina između okomica | $L_{PP}$ | 165 | m |
| Širina | $B_M$ | 31,1 | m |
| Projektni gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Blok koeficijent | $C_B$ | 0,514 | |
| Koeficijent punoće glavnog rebra | $C_M$ | 0,91 | |
| Položaj težišta istisnine od $L_{PP}/2$ | | -2,330 | m |
| BULB | | DA | |
| Srednji gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Gaz na krmi | $T_A$ | 7,7 | m |
| Gaz na pramcu | $T_F$ | 7,7 | m |
| Istisnina | V | 20609 | $m^3$ |
| | | | |
| STROJ: | | | |
| Snaga na kočnici (u KS) | $P_B$ | 16891 | KS |
| Broj okretaja | $N_M$ | 129 | o/min |
| | | | |
| PROPELER: | | | |
| Broj propelera | | 2 | |
| Broj krila propelera | | 4 | |
| Broj okretaja | $N_T$ | 129 | o/min |
| Rezerva snage za službu | $S_M$ | 15 | % |

**Tablica 17. Izlazni podaci i prognoza otpora – dva pogonska stroja 2x** 5S46MC-C8

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Brzina na pokusnoj plovidbi | $V_T$ | = | 20,4 (x 1,03 = 21,012) | čv |
| Brzina u službi | $V_S$ | = | 19,25 (x 1,03 = 19,83) | čv |
| Isporučena snaga | $P_{DT}$ | = | 16600 | KS |
| Broj okretaja | $N_T$ | = | 129 | o/min |
| Promjer propelera | D | = | 4,86 | m |
| | | | | |

| BROD | | | | | POKUSNA PLOVIDBA | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brzina | Froudeov broj | Preostali otpor | Efektivna snaga | Isporučena snaga | Broj okretaja | Isporučena snaga |
| V | $F_{nL}$ | $10^3C_R$ | $P_E$ | $P_D$ | $N_T$ | $P_{DT}$ |
| čv | | | KS | KS | o/min | KS |
| 16 | 0,213 | 0,631 | 5219 | 8310 | 102 | 8132 |
| 16,5 | 0,213 | 0,631 | 5711 | 9093 | 105 | 8899 |
| 17 | 0,214 | 0,632 | 6235 | 9928 | 108 | 9716 |
| 17,5 | 0,221 | 0,641 | 6813 | 10848 | 111 | 10617 |
| 18 | 0,227 | 0,655 | 7440 | 11846 | 114 | 11593 |
| 18,5 | 0,233 | 0,674 | 8121 | 12931 | 118 | 12655 |
| 19 | 0,24 | 0,698 | 8866 | 14117 | 121 | 13815 |
| 19,5 | 0,246 | 0,729 | 9682 | 15417 | 125 | 15087 |
| 20 | 0,252 | 0,766 | 10578 | 16843 | 129 | 16483 |
| 20,5 | 0,259 | 0,809 | 11557 | 18402 | 133 | 18009 |
| 21 | 0,265 | 0,86 | 12642 | 20129 | 137 | 19699 |
| 21,5 | 0,271 | 0,918 | 13834 | 22028 | 141 | 21558 |
| 22 | 0,277 | 0,981 | 15139 | 24106 | 145 | 23591 |




**Slika 12. Prognozni dijagram za pogon s dva pogonska stroja 2x** 5S46MC-C8

Prednosti ovakvog načina pogona su:

- dva manja sporohodna motora troše jeftino teško gorivo
- relativno mali pad brzine u slučaju havarije jednog stroja
- dobra upravljivost zbog dva vijka

Nedostaci:

- velika masa
- dva stroja su skuplja nego jedan veći
- potrebne dvije strojarnice s dvostrukim sustavima, potpuno međusobno nezavisnim
- potreban veći prostor

### 4.2.4 Pogon pomoću glavnog dieselskog motora i pomoćnog aktivnog kormila

Prije je već spomenuta i približno objašnjena ova mogućnost pogona. Međutim, u primjeru s kontejnerskim brodom spominje se Azipod kao pogon u kombinaciji s glavnim pogonskim strojem. Potrebno je ovdje napraviti razliku. Klasični Azipod pogon, kakav je spomenut u primjeru s kontejnerskim brodom, predviđen je da radi u kombinaciji s glavnim pogonskim strojem i da kao takvi tvore tandem kao osnovni pogon. U tom slučaju, Azipod pogonoski sustav se sastoji od kontrarotirajućeg propelera, koji stoji nasuprot glavnom vijku, i koji je pogonjenen elektromotorom smještenim u samom trupu kormila tj. samog Azipod-a. Tu najviše dolazi do izražaja prednost ovog uređaja jer spreg kontrarotirajućeg propelera i osnovnog propelera znatno poboljšava propulzijske značajke te omogućuje bolje iskorištenje snage.

Kad se govori o rješenju primjene aktivnog kormila kao pomoćnog pogona broda, u ovom slučaju broda za prijevoz žive stoke, postoji nekoliko značajnih razlika u odnosu na navedeni Azipod pogon. Ovdje aktivno kormilo ne služi, u kombinaciji s glavnim strojem, kao osnovni pogon. Njegova osnovna namjena je da bude rezervni pogon, u slučaju havarije glavne strojarnice i kao pogon za potrebe manevriranja brodom i kao takav se ne koristi u plovidbi. Zbog toga, za potrebe kormilarenja u plovidbi, potrebno je da kormilo ima dovoljnu površinu kako bi upravljivost bila zadovoljavajuća pa se samim tim vanjski izgled aktivnog kormila i Azipod-a razlikuje. Druga razlika je da aktivno kormilo nema kontrarotirajući propeler koji se nalazi s krmene strane kormila, a ne s pramčane kao kod Azipod-a. I posljednja razlika je da aktivno kormilo u strukturi kormila ima ugrađen samo prijenosni mehanizam koji prenosi moment na propeler, a elektromotor je smješten u pomoćnoj strojarnici.

S obzirom da je ugradnja ovakvog sustava relativno skupa, ušteda se može postići smanjenjem snage glavnog stroja. Ušteda se na taj način postiže samim time što je manji stroj jeftiniji stroj, a i strojarnica će biti manja čime se dobiva koristan prostor za smještaj tereta. U sljedećim tablicama i dijagramima dani su podaci za različite režime pogona sa osnovnim pogonom, pomoćnim aktivnim kormilom i sa kombinacijom ta dva pogona. Važno je napomenuti da se pomoćni pogon u kombinaciji s glavnim pogonom može koristi u slučaju značajnijeg kašnjenja broda u luku iskrcaja (pr. u slučaju lošeg vremena) pri čemu brod postiže brzinu jednaku brzini koju bi imao da ima ugrađen glavni stroj snage jednakoj snazi stroja gradnje 428. Ovakva kombinacija pogona se dakle koristi samo u nuždi jer nije ekonomična s obzirom da gubitci prijenosa snage srednjehodni diesel motor – generator – konverteri frekvencije – elektromotor – reduktor – propeler iznose približno 10 % uz neusporedivo veće troškove održavanja u odnosu na pogon sporohodni diesel motor – propeler pri čemu su gubici prijenosa snage približno 1.5 %.

Glavni pogonski stroj za projekt biti će jednak glavnom stroju gradnje 428, ali s jednim cilindrom manje radi smanjenja ukupne cijene pogona i radi smanjenja potrebnog prostora predviđenog za strojarnicu.

Značajke motora [8]:

| | |
|---|---|
| Tip motora: | 6S50MC-C7 |
| Snaga na prirubnici motora (na kočnici): | 9480 kW |
| Broj okretaja: | 127 o/min |
| Srednji efektivni tlak: | 19,0 bar |
| Specifična potrošnja goriva: | 171 g/kWh |

**Slika 13. Ulazni podaci za prognozni dijagram – pogonski stroj 6S50MC-C**

| GLAVNI STROJ 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW | | | |
|---|---|---|---|
| TRUP: | | | |
| Duljina vodne linije | $L_{WL}$ | 169,6 | m |
| Duljina između okomica | $L_{PP}$ | 165 | m |
| Širina | $B_M$ | 31,1 | m |
| Projektni gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Blok koeficijent | $C_B$ | 0,514 | |
| Koeficijent punoće glavnog rebra | $C_M$ | 0,91 | |
| Položaj težišta istisnine od $L_{PP}/2$ | | -0,96 | % |
| BULB | | DA | |
| Srednji gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Gaz na krmi | $T_A$ | 7,7 | m |
| Gaz na pramcu | $T_F$ | 7,7 | m |
| Istisnina | V | 20309 | $m^3$ |
| | | | |
| STROJ: | | | |
| Snaga na kočnici (u KS) | $P_B$ | 11603 | KS |
| Broj okretaja | $N_M$ | 127 | o/min |
| | | | |
| PROPELER: | | | |
| Broj propelera | | 1 | |
| Broj krila propelera | | 4 | |
| Broj okretaja | $N_T$ | 127 | o/min |
| Rezerva snage za službu | $S_M$ | 15 | % |

**Napomena:** I u ovom slučaju je potrebno dobivene brzine pomnožiti s korekcijskim faktorom jer je forma trupa projektiranog broda jednaka formi gradnje 428. Prema preporuci, iskustveni korekcijski faktor za slučaj pogona sa jednim propelerom je 1.03, a za ostale varijante pogona je 1.02. Prognozni dijagram i podaci za prognozni dijagram nisu korigirani sa spomenutim faktorom.

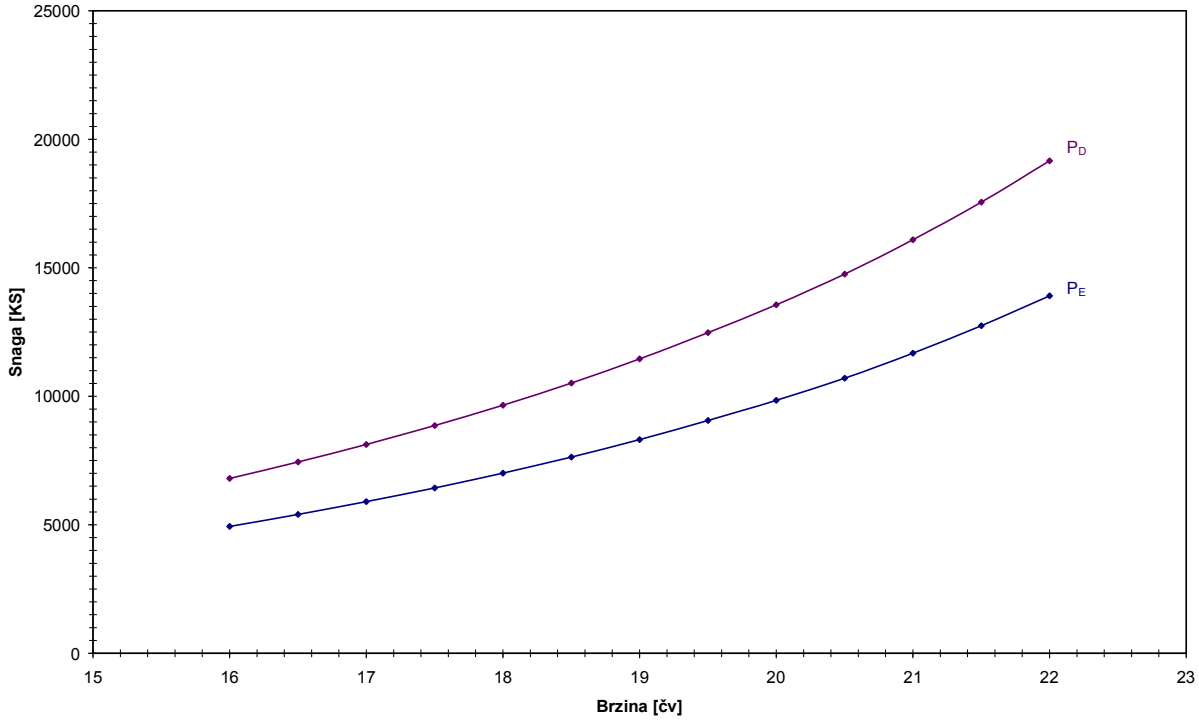
**Tablica 18. Izlazni podaci i prognoza brzine – pogonski stroj 6S50MC-C**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Brzina na pokusnoj plovidbi | $V_T$ | = | 19,1 (x 1,03 = 19,67) | čv |
| Brzina u službi | $V_S$ | = | 18,28 (x 1,03 = 18,83) | čv |
| Isporučena snaga | $P_{DT}$ | = | 11400 | KS |
| Broj okretaja | $N_T$ | = | 127 | o/min |
| Promjer propelera | D | = | 5,63 | m |

| BROD | | | | | POKUSNA PLOVIDBA | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brzina | Froudeov broj | Preostali otpor | Efektivna snaga | Isporučena snaga | Broj okretaja | Isporučena snaga |
| V | $F_{nL}$ | $10^3C_R$ | $P_E$ | $P_D$ | $N_T$ | $P_{DT}$ |
| čv | | | KS | KS | o/min | KS |
| 16 | 0,218 | 0,644 | 4939 | 6805 | 106 | 6660 |
| 16,5 | 0,218 | 0,644 | 5405 | 7446 | 109 | 7287 |
| 17 | 0,218 | 0,644 | 5898 | 8127 | 113 | 7953 |
| 17,5 | 0,221 | 0,647 | 6429 | 8857 | 116 | 8668 |
| 18 | 0,227 | 0,656 | 7007 | 9654 | 119 | 9448 |
| 18,5 | 0,233 | 0,67 | 7633 | 10517 | 123 | 10292 |
| 19 | 0,24 | 0,688 | 8313 | 11454 | 126 | 11209 |
| 19,5 | 0,246 | 0,712 | 9055 | 12476 | 130 | 12209 |
| 20 | 0,252 | 0,736 | 9844 | 13564 | 134 | 13274 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20,5 | 0,259 | 0,767 | 10708 | 14754 | 137 | 14439 |
| 21 | 0,265 | 0,809 | 11677 | 16089 | 141 | 15745 |
| 21,5 | 0,271 | 0,858 | 12744 | 17559 | 146 | 17184 |
| 22 | 0,277 | 0,912 | 13906 | 19159 | 150 | 18750 |

Prognoza brzine prema Tablica 18 pokazuje da će brzina broda u službi biti 18,8 čv pri 90% MCR. Navedena brzina predviđa se za idealne uvjete pokusne plovidbe, a predviđena je rezerva od 15% snage za potrebe službe.




**Slika 14. Prognozni dijagram za pogon sa glavnim strojem 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW**

Sljedeće tablice predstavljaju ulazne i izlazne podatke za prognozni dijagram za slučaj pogona s pomoćnim pogonom – azimutnim propelerom.

**Tablica 19. Ulazni podaci za prognozni dijagram - pogonski stroj POD 2000 kW**

| POD 2000 kW | | | |
|---|---|---|---|
| TRUP: | | | |
| Duljina vodne linije | $L_{WL}$ | 169,6 | m |
| Duljina između okomica | $L_{PP}$ | 165 | m |
| Širina | $B_M$ | 31,1 | m |
| Projektni gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Blok koeficijent | $C_B$ | 0,514 | |
| Koeficijent punoće glavnog rebra | $C_M$ | 0,91 | |
| Položaj težišta istisnine od $L_{PP}/2$ | | -0,96 | % |
| BULB | | DA | |
| Srednji gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Gaz na krmi | $T_A$ | 7,7 | m |
| Gaz na pramcu | $T_F$ | 7,7 | m |
| Istisnina | V | 20309 | $m^3$ |
| | | | |
| STROJ: | | | |
| Snaga na kočnici (u KS) | $P_B$ | 2720 | KS |
| Broj okretaja | $N_M$ | 250 | o/min |

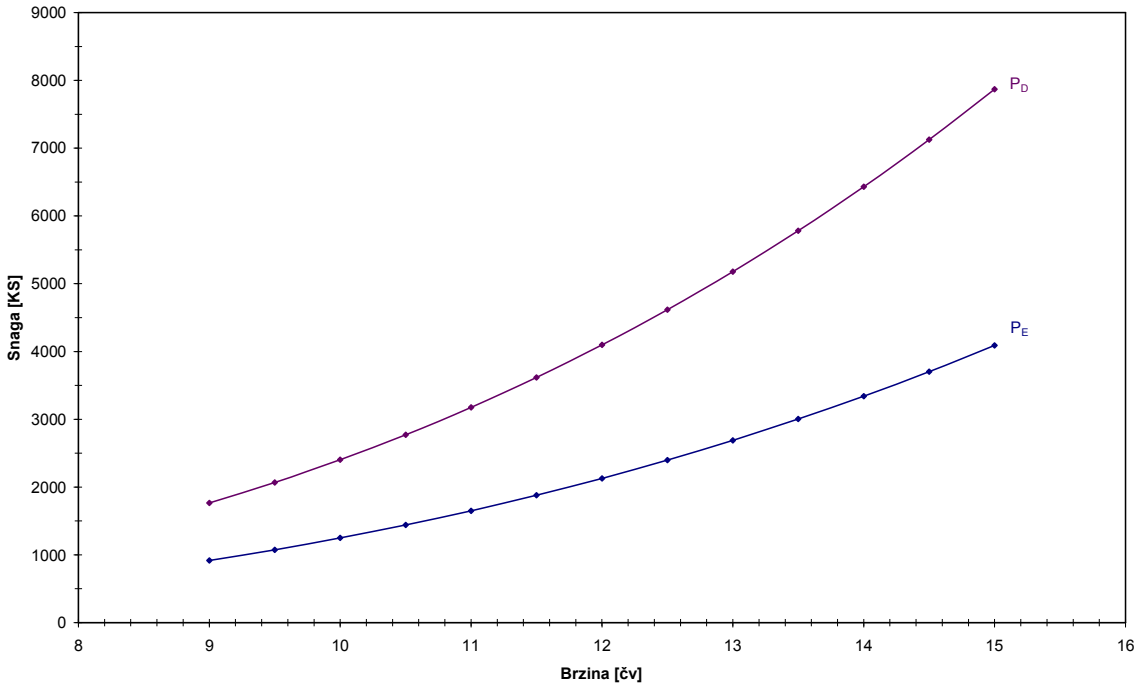
| | | | |
|---|---|---|---|
| PROPELER: | | | |
| Broj propelera | | 1 | |
| Broj krila propelera | | 4 | |
| Broj okretaja | $N_T$ | 250 | o/min |
| Rezerva snage za službu | $S_M$ | 15 | % |

**Tablica 20. Izlazni podaci i prognoza brzine – pogonski stroj POD 2000 kW**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Brzina na pokusnoj plovidbi | $V_T$ | = | 10,42 (x 1,02 = 10,63) | čv |
| Brzina u službi | $V_S$ | = | 9,93 (x 1,02 = 10,13) | čv |
| Isporučena snaga | $P_{DT}$ | = | 2650 | KS |
| Broj okretaja | $N_T$ | = | 250 | o/min |
| Promjer propelera | D | = | 3,0 | m |

| BROD | | | | | POKUSNA PLOVIDBA | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brzina | Froudeov broj | Preostali otpor | Efektivna snaga | Isporučena snaga | Broj okretaja | Isporučena snaga |
| V | $F_{nL}$ | $10^3C_R$ | $P_E$ | $P_D$ | $N_T$ | $P_{DT}$ |
| čv | | | KS | KS | o/min | KS |
| 9 | 0,218 | 0,644 | 918 | 1766 | 217 | 1729 |
| 9,5 | 0,218 | 0,644 | 1075 | 2069 | 229 | 2025 |
| 10 | 0,218 | 0,644 | 1249 | 2404 | 240 | 2352 |
| 10,5 | 0,218 | 0,644 | 1440 | 2772 | 252 | 2713 |
| 11 | 0,218 | 0,644 | 1650 | 3176 | 264 | 3108 |
| 11,5 | 0,218 | 0,644 | 1879 | 3617 | 275 | 3540 |
| 12 | 0,218 | 0,644 | 2128 | 4097 | 287 | 4009 |
| 12,5 | 0,218 | 0,644 | 2398 | 4616 | 299 | 4518 |
| 13 | 0,218 | 0,644 | 2690 | 5177 | 310 | 5067 |
| 13,5 | 0,218 | 0,644 | 3004 | 5782 | 322 | 5658 |
| 14 | 0,218 | 0,644 | 3341 | 6431 | 334 | 6294 |
| 14,5 | 0,218 | 0,644 | 3702 | 7127 | 345 | 6974 |
| 15 | 0,218 | 0,644 | 4089 | 7870 | 357 | 7702 |

Tablica 19 i Tablica 20 pokazuju da je predviđena brzina broda u slučaju pogona samo s pomoćnim strojem 10,1 čv. Predviđa se da će brod ploviti ovom brzinom u slučaju havarije glavnog pogona.




**Slika 15. Prognozni dijagram za pogon sa pomoćnim pogonom POD 2000 kW**

Podaci za prognozni dijagram za posljednji slučaj pogona – kombinacija glavnog i pomoćnog pogonskog sustava, prikazani su u sljedećim tablicama Tablica 21 i Tablica 22. Proračun podataka za prognozni dijagram je u ovom slučaju proveden na taj način kao da je na brodu ugrađen jedan pogonski stroj čija je snaga jednaka zbroju snaga glavnog i pomoćnog stroja. Broj okretaja je pri tom bio jednak broju okretaja glavnog stroja.

**Tablica 21. Ulazni podaci za prognozni dijagram za kombinirani pogon - 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW**

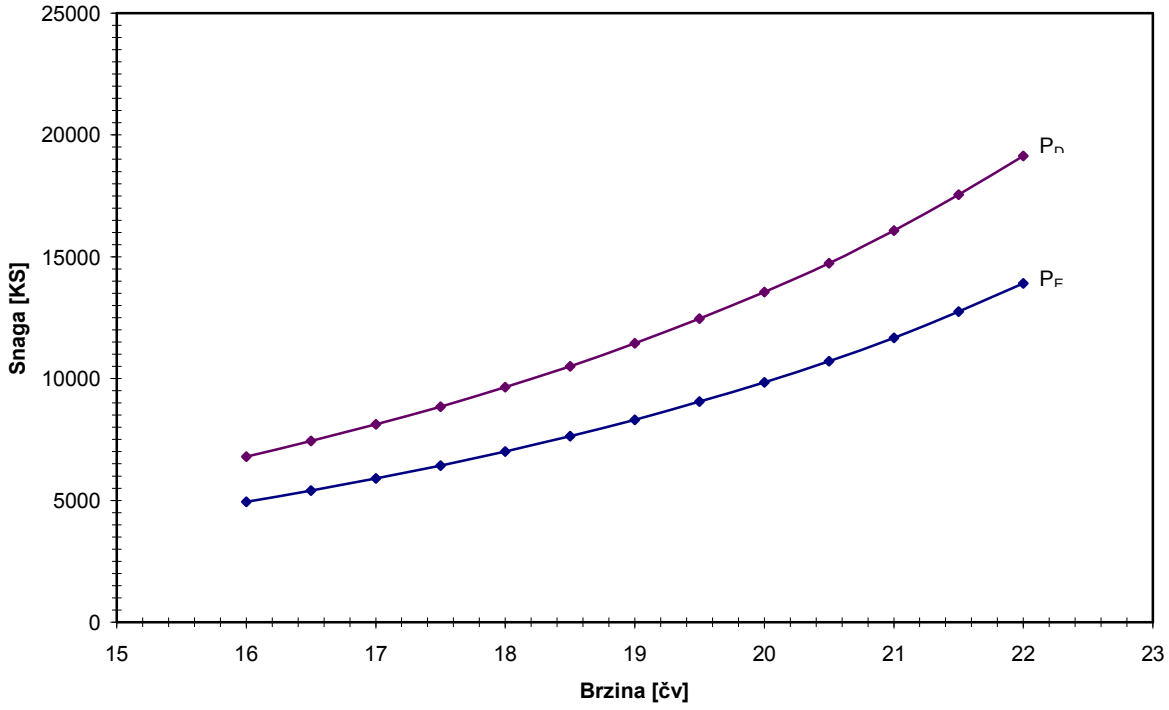
| 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW | | | |
|---|---|---|---|
| TRUP: | | | |
| Duljina vodne linije | $L_{WL}$ | 169,6 | m |
| Duljina između okomica | $L_{PP}$ | 165 | m |
| Širina | $B_M$ | 31,1 | m |
| Projektni gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Blok koeficijent | $C_B$ | 0,514 | |
| Koeficijent punoće glavnog rebra | $C_M$ | 0,91 | |
| Položaj težišta istisnine od $L_{PP}/2$ | | -0,96 | % |
| BULB | | DA | |
| Srednji gaz | $T_M$ | 7,7 | m |
| Gaz na krmi | $T_A$ | 7,7 | m |
| Gaz na pramcu | $T_F$ | 7,7 | m |
| Istisnina | V | 20309 | $m^3$ |
| | | | |
| STROJ: | | | |
| Snaga na kočnici (u KS) | $P_B$ | 14323 | KS |
| Broj okretaja | $N_M$ | 127 | o/min |
| | | | |
| PROPELER: | | | |
| Broj propelera | | 1 | |
| Broj krila propelera | | 4 | |
| Broj okretaja | $N_T$ | 127 | o/min |
| Rezerva snage za službu | $S_M$ | 15 | % |

**Tablica 22. Izlazni podaci i prognoza brzine za kombinirani pogon - 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Brzina na pokusnoj plovidbi | $V_T$ | = | 20,32 (x 1,02 = 20,73) | čv |
| Brzina u službi | $V_S$ | = | 19,49 (x 1,02 = 19,88) | čv |
| Isporučena snaga | $P_{DT}$ | = | 14000 | KS |
| Broj okretaja | $N_T$ | = | 127 | o/min |
| Promjer propelera | D | = | 5,84 | m |

| BROD | | | | | POKUSNA PLOVIDBA | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brzina | Froudeov broj | Preostali otpor | Efektivna snaga | Isporučena snaga | Broj okretaja | Isporučena snaga |
| V | $F_{nL}$ | $10^3C_R$ | $P_E$ | $P_D$ | $N_T$ | $P_{DT}$ |
| čv | | | KS | KS | o/min | KS |
| 16 | 0.218 | 0.644 | 4939 | 6799 | 99 | 6653 |
| 16.5 | 0.218 | 0.644 | 5405 | 7440 | 102 | 7281 |
| 17 | 0.218 | 0.644 | 5898 | 8119 | 105 | 7946 |
| 17.5 | 0.221 | 0.647 | 6429 | 8849 | 108 | 8660 |
| 18 | 0.227 | 0.656 | 7007 | 9645 | 111 | 9439 |
| 18.5 | 0.233 | 0.670 | 7633 | 10507 | 115 | 10282 |
| 19 | 0.240 | 0.688 | 8313 | 11443 | 118 | 11199 |
| 19.5 | 0.246 | 0.712 | 9055 | 12464 | 121 | 12198 |
| 20 | 0.252 | 0.736 | 9844 | 13551 | 125 | 13262 |
| 20.5 | 0.259 | 0.767 | 10708 | 14740 | 128 | 14426 |
| 21 | 0.265 | 0.809 | 11677 | 16074 | 132 | 15730 |
| 21.5 | 0.271 | 0.858 | 12744 | 17542 | 136 | 17168 |
| 22 | 0.277 | 0.912 | 13906 | 19141 | 140 | 18733 |

Izlazni podaci pokazuju da je predviđena brzina broda u službi gotovo jednaka brzini gradnje 428. Iako brod načelno neće ploviti ovom brzinom, osim u slučaju većeg kašnjenja, zahtijevana brzina je postignuta.




**Slika 16. Prognozni dijagram za kombinirani pogon - 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW**

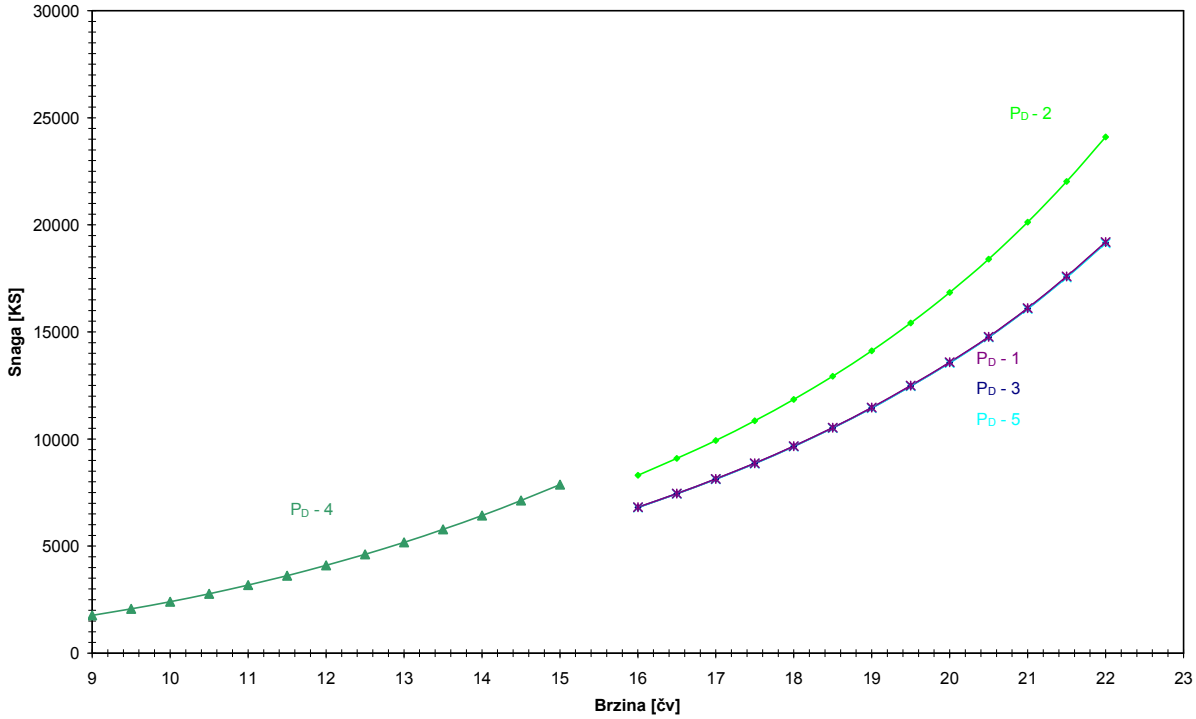
### 4.2.5 Analiza varijanti pogona

U sljedećoj tablici dana je usporedba rezultata za sve varijante pogona projektiranog broda.

1. **GRADNJA 428**
2. **DVA STROJA 2X 5S46MC-C8 2X6900 kW**
3. **GLAVNI STROJ 6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW**
4. **POD 2000 kW**
5. **6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW**

**Tablica 23. Usporedba prognoziranih brzina za različite varijante pogona**

| | | | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Snaga na kočnici (u KS) | $P_B$ | [KS] | 13537 | 16891 | 11603 | 2720 | 14323 |
| Broj okretaja | $N_M$ | [o/min] | 127 | 129 | 127 | 250 | 127 |
| Brzina na pokusnoj plovidbi | $V_T$ | [čv] | 20,00 (x1,03=20,6) | 20,4 (x1,03 =21,01) | 19,1 (x1,03=19,67) | 10,42 (x1,02 =10,63) | 20,32 (x1,02=20,73) |
| Brzina u službi | $V_S$ | [čv] | 19,18 (x1,03=19,76) | 19,25 (x1,03 =19,83) | 18,28 (x 1,03 =18,83) | 9,93 (x1,02 =10,13) | 19,49 (x1,02=19,88) |
| Isporučena snaga | $P_{DT}$ | [KS] | 13300 | 16600 | 11400 | 2650 | 14000 |
| Broj okretaja | $N_T$ | [o/min] | 127 | 129 | 127 | 250 | 127 |




**Slika 17. Usporedba isporučene snage za sve varijante pogona i sa gradnjom 428**

Iz tablice je očito da je za postizanje iste brzine (19.8 čv), ukupna snaga varijante s dva motora oko 15 % veća nego kod varijante s jednim motorom i aktivnim kormilom. Ta razlika u snazi uvjetuje veću cijenu rješenja s dva motora i dakako veću masu pa je u znatnoj prednosti rješenje s jednim glavnim strojem i aktivnim kormilom. Osim toga, vidljivo je da je razlika u snazi potrebne za postizanje brzine od 19,8 čv tek nešto veća kod kombiniranog pogona nego kod gradnje 428 sa jednim motorom.

Dakle, odabrano rješenje za pogon projektiranog broda je kombinirani pogon glavnog sporohodnog dieselskog motora i aktivnog kormila. S obzirom na odabrani način pogona projekta, potrebno je predvidjeti vrijeme koje će brodu biti potrebno kako bi prešao zadanu rutu. Predviđa se da će brod u plovidbi koristiti samo glavni pogonski stroj. Već je spomenuto da je glavni dieselski stroj umanjen za jedan cilindar s obzirom na pogonski stroj gradnje 428 radi smanjenja troškova i prostora na brodu. Smanjena snaga glavnog motora rezultira nešto manjom brzinom koju će brod postići.

Predviđeno vrijeme trajanja plovidbe je 19 dana. Ako brod plovi brzinom 19.8 čv, kolika je brzina gradnje 428, brod će prevaliti 9030 nautičkih milja. U slučaju projektiranog broda čija je brzina u službi 18.8 čv, brod bi trebao preći predviđenu rutu za 20 dana. Ta razlika nije značajna jer brod ima dovoljne zalihe, a u slučaju značajnijeg kašnjenja (pr. zbog lošeg vremena) brod može dodatni poriv i brzinu ostvariti pomoću aktivnog kormila i time postići brzinu od 19.8 čv.

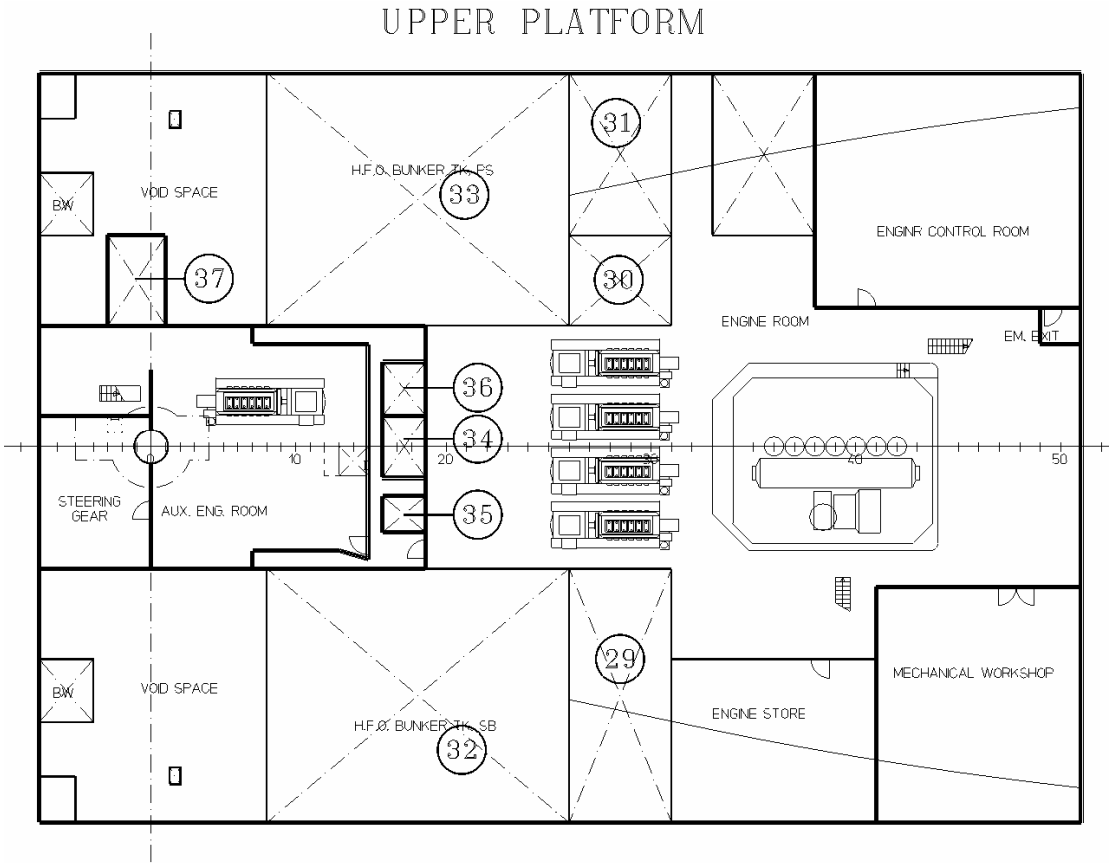
Međutim, osnovni razlog ugradnje aktivnog kormila je pomoćna propulzija, odnosno u slučaju kvara glavnog stroja ili havarije strojarnice, brod mora dopremiti stoku u najbližu luku i time osigurati preživljavanje stoke, odnosno sigurnost tereta. U najgorem slučaju glavni stroj se može zaustaviti na pola predviđene rute. U tom slučaju pomoćna propulzija mora dovesti brod do najbliže luke (bilo luke polaska ili luke iskrcaja). Koliko će vremena biti potrebno da pomoćni pogon dopremi brod u najbližu luku prikazano je sljedećim računom:

| | |
|---|---|
| - predviđeno vrijeme plovidbe: | 19 dana |
| - predviđena duljina rute: | 9030 NM |
| - predviđeno vrijeme za slučaj kašnjenja (rezerva): | 3 dana |
| - polovina predviđene rute (vremenski): | 9,5 dana |
| - polovina predviđene rute: | 4515 NM |
| - brzina koju brod postiže s pomoćnim pogonom: | 10,13 čv |
| - vrijeme potrebno da brod prijeđe polovinu rute uz pomoć aktivnog kormila: | 18,6 dana |
| - maksimalno vrijeme kašnjenja broda: | 18,6-9,5-3 = 6,1 dan |

Vrijeme prekoračenja predviđenog vremena trajanja plovidbe je 6,1 dan. Smatra se da većina stoke može preživjeti to vrijeme sa smanjenom količinom hrane i dovoljnom količinom vode koja se može proizvoditi pomoću uređaja za proizvodnju pitke vode. Međutim, postoji još jedna okolnost koja osigurava dobrobit i preživljavanje stoke. Brodovlasnik je za gradnju 428 zahtijevao određeni volumen skladišta hrane za stoku. Ispostavilo se da je taj volumen, kako će se kasnije vidjeti gotovo dvostruko veći od onog predviđenog propisima s obzirom na količinu stoke koja se prevozi. Naime, brodovlasnik ne prodaje samo stoku u siromašnim zemljama nego i hranu za stoku koja je u tim zemljama višestruko skuplja nego u zemljama odakle se stoka izvozi. Dakle, dodatna sigurnost je i ta što u skladištima ima više hrane nego što je u stvari stoci potrebno.

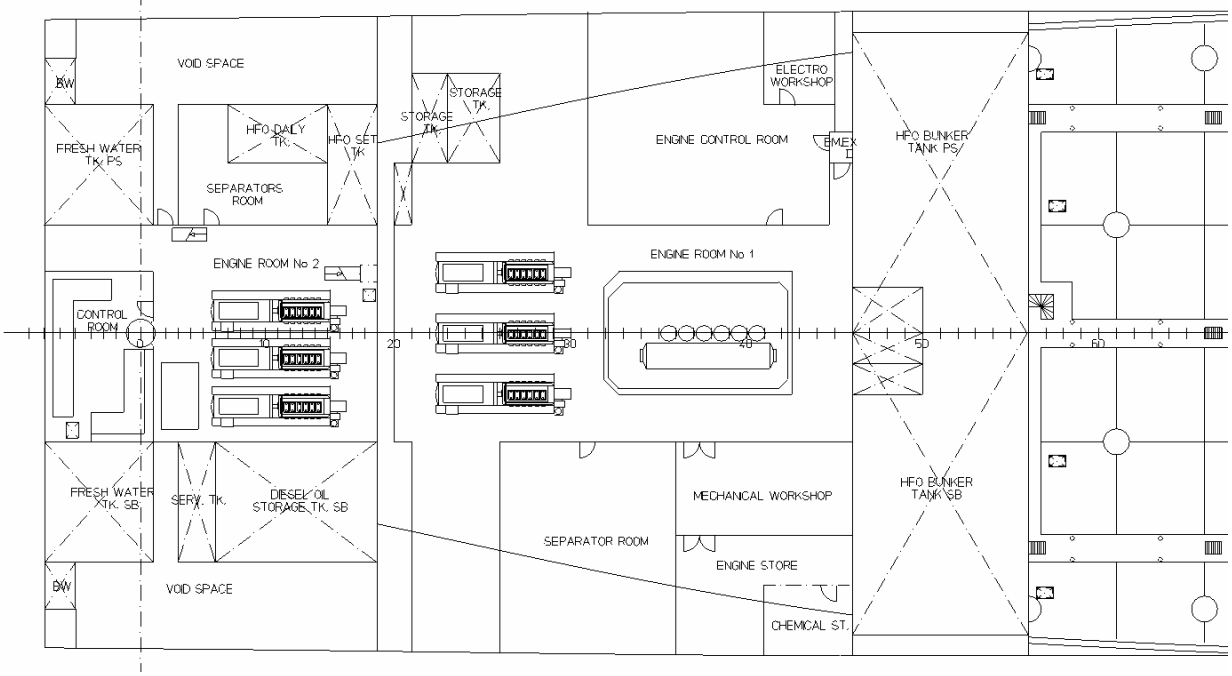
### 4.2.6 Smještaj nove strojarnice

Pomoćna strojarnica s pomoćnim pogonom i svim potrebnim sustavima mora biti izdvojena i nezavisna od glavne strojarnice kako bi, u slučaju havarije glavnog pogona, mogla samostalno proizvoditi energiju potrebnu za pomoćni pogon. Na gradnji 428 strojarnica se proteže od 19 do 51 rebra prema Slika 18.




**Slika 18. Prikaz strojarnice gradnje 428 – gornja platforma strojarnice**

Vidljivo je da se na razini gornje platforme na krmenom dijelu nalazi prostor koji je predviđen smještaj uređaja za pokretanje kormila u kojem je smješten i pomoćni generator. U tom prostoru je moguće smjestiti sve uređaje potrebne za pogon aktivnog kormila kao i dodatne generatore koji će proizvoditi električnu energiju za pogon aktivnog kormila. Opći plan strojarnice će nakon izmjene izgledati prema slici:




**Slika 19. Opći plan strojarnice projektiranog broda**

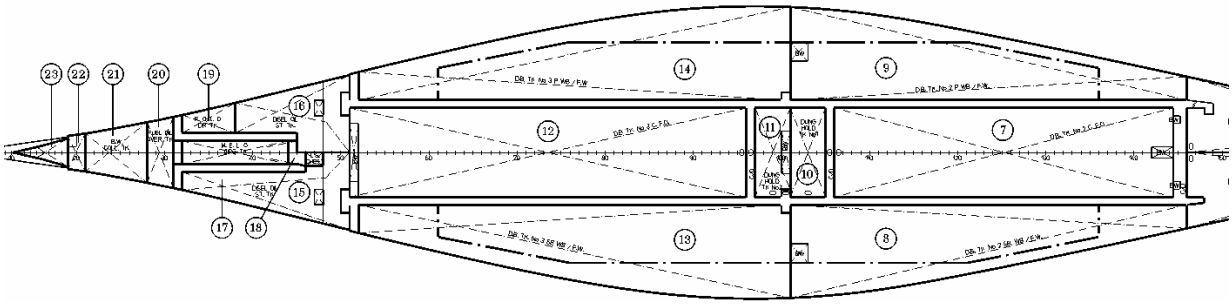
U strojarnici broj 2 smješteni su generatori, uređaji i kontrolna soba potrebni za upravljanje aktivnim kormilom. Vidljivo je da je i strojarnica br. 1 skraćena za 5 razmaka rebara (R. 19-46) zbog kraćeg motora, ali i zbog smještaja tankova teškog goriva koji sad više nisu u prostoru same strojarnice već se nalaze ispred nje. Razlog tome su novi propisi MARPOLA-a o čemu će biti više riječi u sljedećem poglavlju. Uz pomoćnu strojarnicu (br. 2) smješteni su pak svi tankovi potrebni za snabdjevanje gorivom pomoćne strojarnice i dijelom glavne strojarnice.

## *4.3 Tankovi goriva*

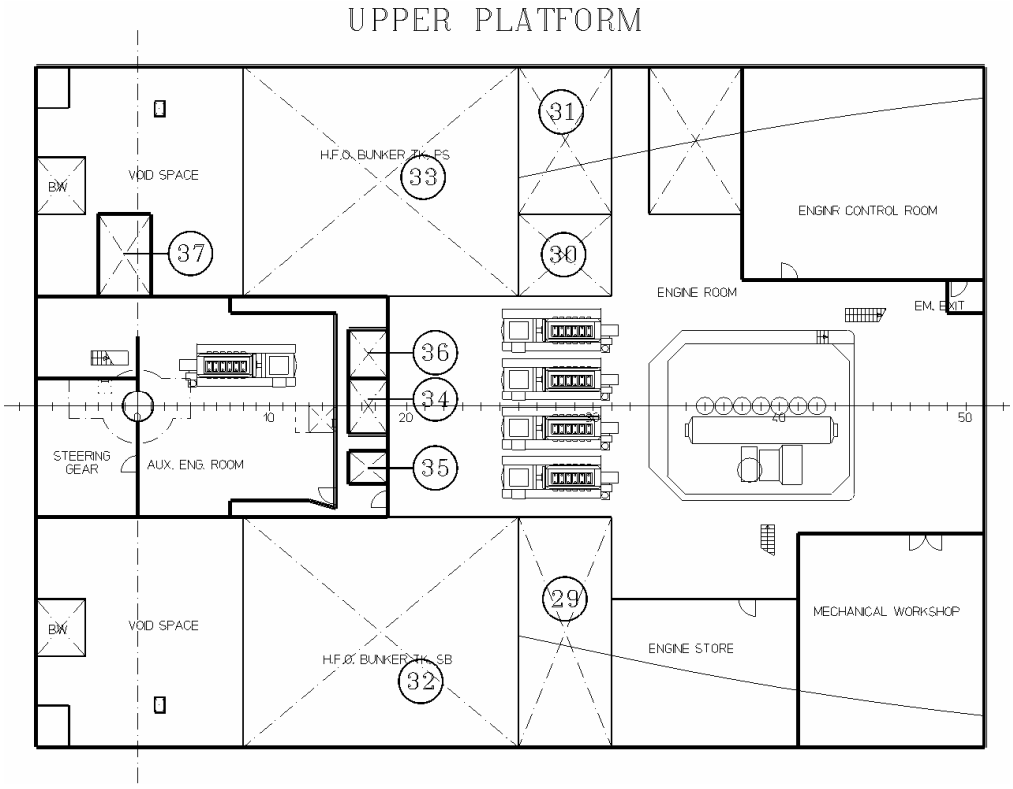
Prema novim pravilima MARPOL, postojeći raspored tankova na gradnji 428 ne zadovoljava nove sigurnosne propise te je potrebno napraviti određene izmjene. Načelno, svi tankovi goriva veći od 30 $m^3$ moraju se odmaknuti od vanjske oplate za određeni definirani izraz prema pravilima. Drugo rješenje je da se provede proračun vjerojatnosti kojim će se dokazati da je vjerojatnost istjecanja goriva iz tankova u slučaju oštećenja oplate broda manja od dozvoljene vjerojatnosti. S obzirom da se na postojećem projektu veliki tankovi teškog goriva nalaze naslonjeni izravno na oplatu, propisi sigurno nisu zadovoljeni te je potrebno napraviti izmjene. U sljedećoj tablici dan je popis svih tankova goriva na gradnji 428, a na slikama je prikazan njihov smještaj u trupu broda.

**Tablica 24. Popis tankova goriva sa položajem težišta gradnje 428**

| Broj odjeljka | Ime odjeljka | Volumen | Udaljenost težišta od | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | LPP/2 | osnovice | CL-a |
| | | $m^3$ | m | m | m |
| | **TEŠKO GORIVO** | | | | |
| 7 | D.BOTT.TK.NO2 C.F.O. | 549,08 | 19,20 | 1,083 | 0,000 |
| 12 | D.BOTT.TK.NO3 C.F.O. | 642,41 | -24,77 | 1,082 | 0,000 |
| 32 | H.F.O.BUNKER TK SB | 268,26 | -71,18 | 10,041 | 9,531 |
| 33 | H.F.O.BUNKER TK PS | 268,26 | -71,18 | 10,041 | -9,531 |
| 29 | H.F.O. SETT.TK | 104,62 | -62,97 | 9,591 | 9,043 |
| 30 | H.F.O. DAILY TK.NO2 | 54,96 | -62,95 | 9,199 | -6,776 |
| 31 | H.F.O. DAILY TK.NO1 | 49,66 | -62,99 | 10,026 | -11,553 |
| 20 | FUEL OIL OVERFLOW TK | 24,48 | -62,14 | 1,148 | 0,000 |
| | TOTAL | 1961,73 | | | |
| | | | | | |
| | **DIESEL GORIVO** | | | | |
| 15 | D.OIL STORAGE TK.SB | 85,44 | -49,84 | 1,210 | 3,092 |
| 16 | D.OIL STORAGE TK.PS | 77,43 | -48,39 | 1,177 | -2,931 |
| 36 | DIESEL OIL DAILY TK. | 9,84 | -72,00 | 10,640 | -2,425 |
| 34 | DIESEL OIL SETT.TK | 11,37 | -72,00 | 10,640 | 0,000 |
| 37 | EM.AUX.ENG.SERV.TK. | 17,29 | -83,10 | 10,898 | -6,871 |
| | TOTAL | 201,37 | | | |



**Slika 20. Tankovi dvodna gradnje 428 – skladišni tankovi teškog goriva i diesel goriva smješteni su u dvodnu, na vanjskoj oplati**




**Slika 21. Tankovi gornje platforme strojarnice gradnje 428 – skladišni tankovi teškog goriva te dnevni i taložni tankovi teškog goriva smješteni uz vanjsku oplatu**

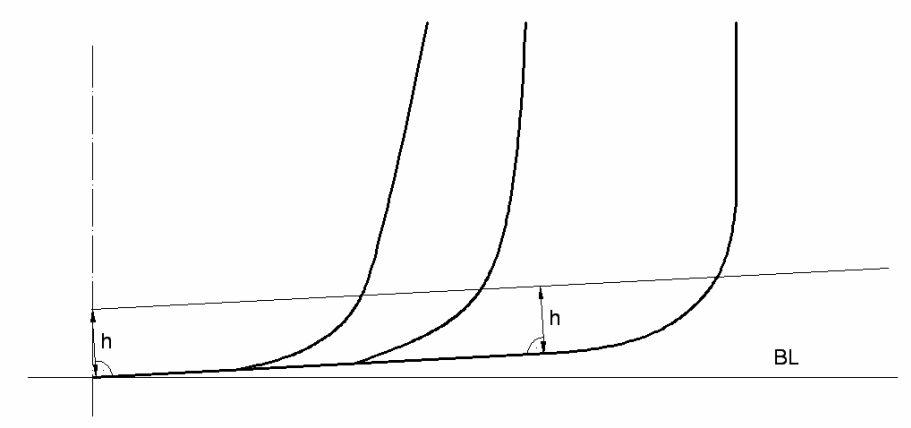
Najjednostavnije rješenje bilo bi da se tankovi odmaknu od vanjske oplate za iznos definiran u pravilima. Točke 6 i 7 prema [6] propisuju slijedeće dimenzije:

6 Za brodove, osim samopodiznih bušačih objekata, koji imaju ukupni volumen tankova goriva veći od 600 $m^3$, tankovi goriva moraju biti odmaknuti iznad projektne linije oplate dna za udaljenost h definiranu kao:

h = B/20 m, ili
h = 2,0 m, već prema tome koja je dimenzija manja.

Minimalni iznos je h = 0,76 m.

U području zakrivljenja oko uzvoja i na mjestima bez jasno definiranog uzvojnog zakrivljenja, linija granice tanka goriva treba biti paralelna sa ravnim dnom sredine broda kako je prikazano na Slika 22.

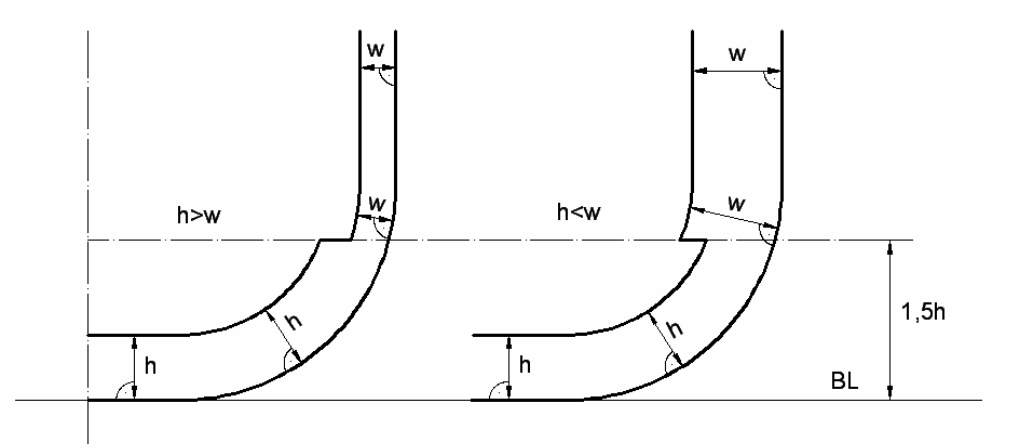



**Slika 22. Granica tankova goriva prema točki 6**

7 Za brodove koji imaju ukupni volumen tankova goriva veći od 600 $m^3$, ali manji od 5000 $m^3$, tankovi goriva moraju biti odmaknuti od projektne linije vanjske oplate najmanje za iznos w na bilo kojem dijelu koji se na svim presjecima mjeri okomito na vanjsku oplatu, kao što je prikazano na Slika 23.

w = 0,4 + 2,4 C/20.000 m, pri čemu je C ukupni volumen svih tankova goriva.

Minimalni iznos w = 1,0 m, iako za tankove čiji je volumen manji od 500 $m^3$, minimalni iznos je w = 0,76 m.




**Slika 23. Granica tankova goriva prema točki 7**

Za postojeći raspored tankova goriva (prema gradnji 428) potrebne dimenzije veličina h i w su sljedeće:

B = 31,1 m
h = 1,555 m

C = 2163,1 $m^3$
w = 0,6596 m – s obzirom da je iznos manji od minimalnog, uzima se minimalni iznos
w = 1,0 m
w = 0,76 m – za tankove manje od 500 $m^3$

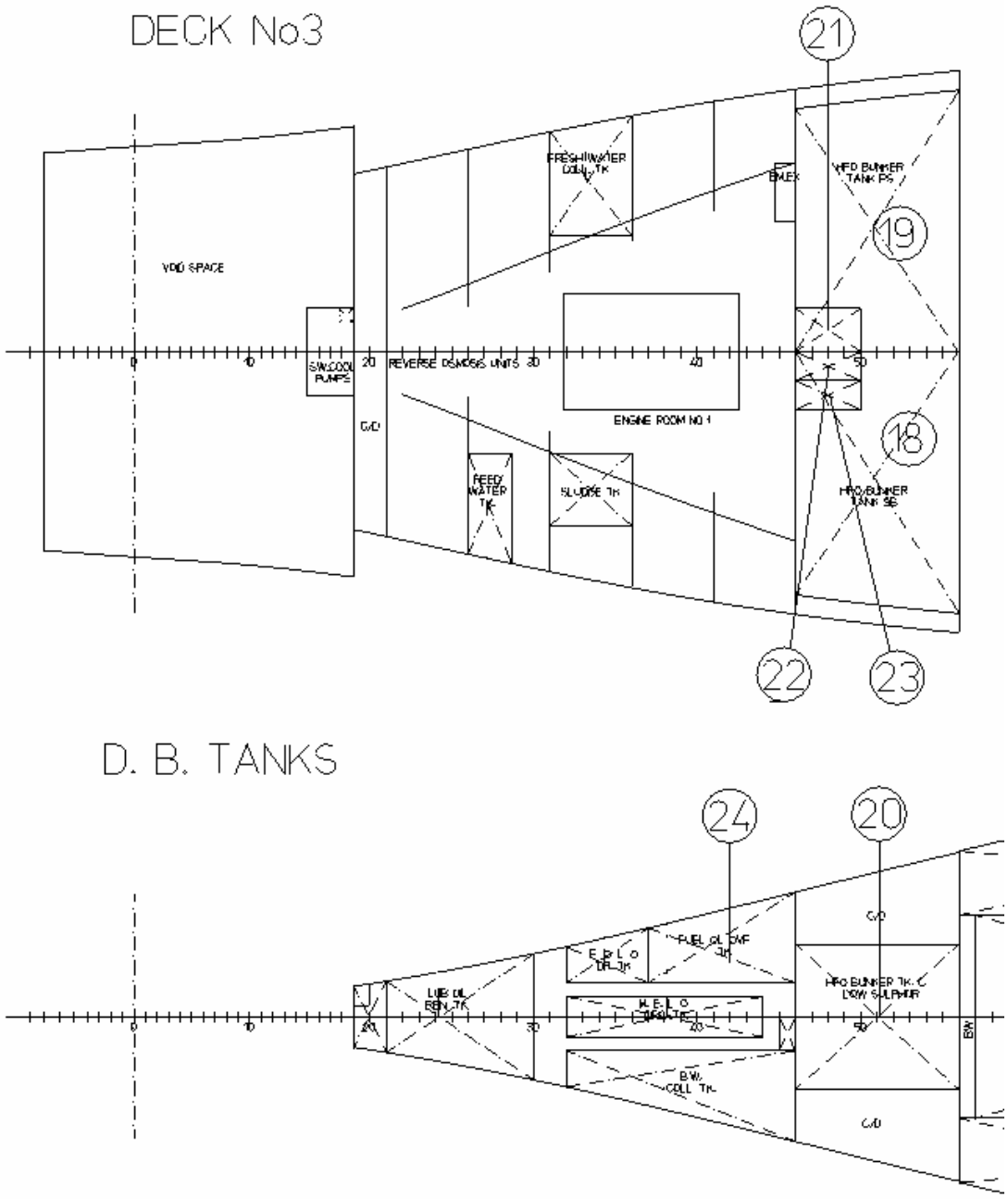
Ako se usporedi visina dvodna koja iznosi 2080 mm s minimalnom potrebnom visinom od 1555 mm koliko bi bilo potrebno odmaknuti tankove goriva u dvodnu od oplate dna, vidljivo je da bi se volumen tankova značajno umanjio te više ne bi mogao sadržavati dovoljnu količinu goriva bez zadiranja u teretni prostor na štetu korisnog teretnog prostora. Osim toga prostor između oplate tanka i oplate dna ostao bi neiskorišten. U taj prostor ne bi bilo moguće smjestiti ni pitku vodu jer je nužno da između tankova pitke vode za stoku i tankova goriva postoji pregradak. U taj prostor ne bi bilo moguće smjestiti ni balast jer je nužno da između tankova balasta i tankova goriva postoji pregradak. Slično se događa i s tankovima teškog goriva u krmenom dijelu iza krmene pregrade strojarnice. Potrebno je dakle pronaći alternativno rješenje za smještaj tankova goriva koje će:

- zadovoljiti nove propisi glede sigurnosti protiv istjecanja goriva u more prilikom oštećenja broda;
- svojim smještajem omogućiti jednostavno snabdijevanje strojarnice potrebnim gorivom (poželjno je tankove smjestiti što bliže strojarnici jer samim time kraći svi potrebni cjevovodi za grijanje goriva i transport goriva);
- svojim smještajem zauzeti najmanju moguću korisnu površinu potrebnu za smještaj tereta i tako ne naštetiti ekonomičnosti broda.

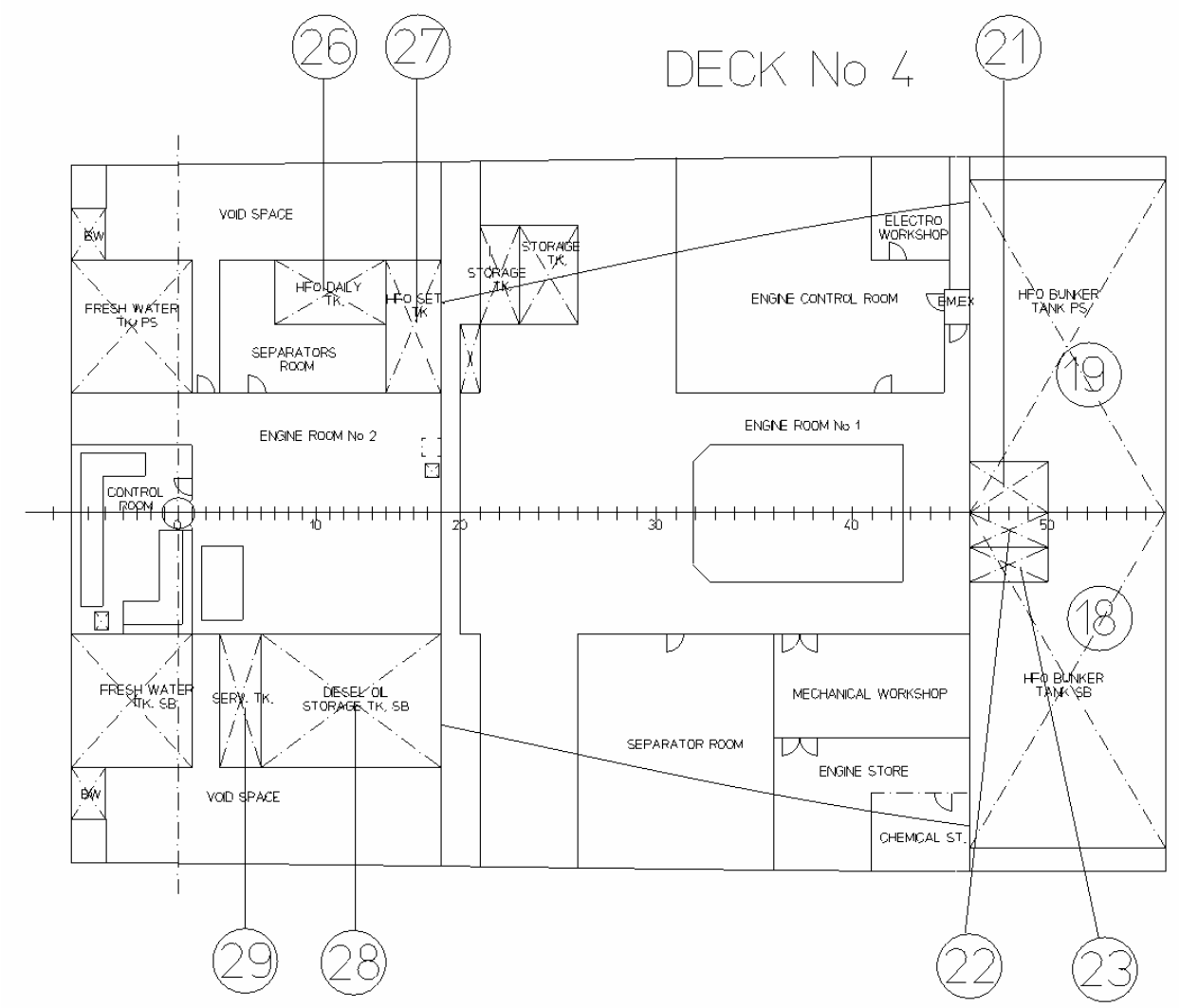
Prema savjetu projektanta iz 'Uljanika', najprihvatljivije rješenje za smještaj tankova teškog goriva pokazalo se ono u kojem se tankovi smještaju vertikalno u prostoru ispred pramčane pregrade strojarnice. Strojarnica se na projektu skraćuje za 5 razmaka rebara, a tankovi goriva se protežu na ukupnu 10 razmaka rebara po dužini i od dna do 5. palube po visini. Na taj način tankovi u najmanjoj mogućoj mjeri ulaze u teretni prostor. Osim toga između oplate tanka i oplate boka postoji prazan prostor što zadovoljava nove propise kako će se pokazati kasnije u proračunu vjerojatnosti istjecanja goriva iz tankova. Skladišni tankovi diesel goriva smjestit će se iza krmene pregrade strojarnice pri čemu se i oni odmiču od oplate zbog svojih dimenzija kako bi zadovoljili nove propise. Sljedeća tablica i skice pokazat će novi predviđeni raspored tankova na projektu.

**Tablica 25. Popis tankova goriva i težišta za predviđeni raspored za projekt**

| Broj odjeljka | Ime odjeljka | Volumen | Udaljenost težišta od | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | LPP/2 | osnovice | CL-a |
| | | $m^3$ | m | m | m |
| | **TEŠKO GORIVO** | | | | |
| 18 | HFO Bunker Tk SB | 827,00 | -43,61 | 7,534 | 6,011 |
| 19 | HFO Bunker Tk PS | 842,90 | -43,66 | 7,553 | -5,947 |
| 20 | HFO Bunker Tk C L.S. | 141,80 | -43,68 | 1,037 | 0,000 |
| 21 | HFO Settling Tk No1 | 47,80 | -46,03 | 8,540 | -1,125 |
| 22 | HFO Daily Tk No1 | 31,90 | -46,03 | 8,540 | 0,750 |
| 23 | HFO Daily Tk L.S. | 31,90 | -46,03 | 8,540 | 2,250 |
| 24 | HFO Overflow Tk | 28,80 | -52,92 | 1,206 | -3,172 |
| 26 | HFO Daily Tk No2 | 20,10 | -75,58 | 11,003 | 9,580 |
| 27 | HFO Settling Tk No2 | 29,10 | -72,29 | 10,788 | 7,889 |
| | TOTAL | 2001,30 | | | |
| | | | | | |
| | **DIESEL GORIVO** | | | | |
| 28 | DO Storage Tk SB | 91,20 | -74,93 | 10,826 | 7,891 |
| 29 | DO Service Tk - AMSA | 29,90 | -79,8 | 10,405 | 7,989 |
| | TOTAL | 121,10 | | | |




**Slika 24. Tankovi goriva dvodna i tankovi teškog goriva od pokrova dvodna do 5. palube - projekt**




**Slika 25. Tankovi teškog goriva i dieselskog goriva u krmenom piku za projekt**

Za ovako predviđeni raspored tankova goriva potrebno je provesti proračun vjerojatnosti istjecanja goriva prilikom oštećenja broda. Opis proračuna dan je u [6] u točki 11. U daljnjem tekstu dan je popis oznaka koja se koriste u proračunu, a sam proračun je dan u obliku tablice iz tabličnog kalkulatora 'Excel'.

L [m] - duljina koja iznosi 96% ukupne duljine vodne linije na 85% najmanje teoretske visine mjerene od vrha kobilice, ili duljina između prednjeg dijela pramčane statve do osovine kormila na toj istoj vodnoj liniji ako je ta duljina veća

$d_S$ [m] - vertikalna udaljenost od teoretske osnovice na polovini duljine broda do vodne linije koja odgovara ljetnoj teretnoj vodnoj liniji

$d_l$ [m] - gaz lakog broda

B [m] - širina broda

$B_B$ [m] - najveća teoretska širina broda na ili ispod vodne linije $d_B$

$B_S$ [m] - najveća teoretska širina broda na razini ili ispod najvećeg teretnog gaza

$D_S$ [m] - teoretska visina, mjerena na polovini duljina do gornje palube. Pod gornjom palubom podrazumijeva se paluba do koje se protežu poprečne vodonepropusne pregrade.

C [$m^3$] - ukupni volumen tankova goriva broda pri 98% popunjenosti

$d_B$ [m] - vertikalna udaljenost između teoretske osnovice na polovini duljine broda do vodne linije koja odgovara 30% visine $D_S$

$d_P$ [m] - parcijalni gaz - gaz lakog broda uvećan za 60% razlike između gaza lakog broda i gaza na ljetnoj teretnoj vodnoj liniji
($d_P = d_l + 0,6(d_S - d_l)$)

$O_M < 0,0157-1,14E-6C$ - zahtijevani parametar prosječnog istjecanja goriva

$O_M = (0,4\ O_{MS} + 0,6\ O_{MB})/C$- parametar prosječnog istjecanja goriva (proračunski – mora biti manji od zahtijevanog)

$O_{MS}$ [$m^3$] - prosječno istjecanje za bočno oštećenje

$O_{MB}$ [$m^3$] - prosječno istjecanje za oštećenje na dnu broda

Sljedeće oznake odnose se na dimenzije tankova:

$X_a$ [m] - udaljenost između krmenog kraja duljine L i krmene točke promatranog tanka

$X_f$ [m] - udaljenost između krmenog kraja duljine L i pramčane točke promatranog tanka

$Y_p$ [m] - poprečna udaljenost između krajnje lijeve točke tanka, koja se nalazi na ili ispod vodne linije $d_B$, i vertikalne ravnine koja se nalazi na $B_B/2$, na desnoj strani broda, paralelno sa središnjom uzdužnom ravninom broda (CL-om)

$Y_s$ [m] - poprečna udaljenost između krajnje desne točke tanka, koja se nalazi na ili ispod vodne linije $d_B$, i vertikalne ravnine koja se nalazi na $B_B/2$, na desnoj strani broda, paralelno sa središnjom uzdužnom ravninom broda (CL-om)

y [m] - minimalna horizontalna udaljenost mjerena okomito na CL između promatranog tanka i bočne oplate

$Y_B$ [m] - minimalni iznos veličine $Y_B$ po duljini tanka goriva, pri čemu je, na bilo kojem mjestu, $Y_B$ poprečna udaljenost između bočne oplate na vodnoj liniji $d_B$ i tanka na ili ispod vodne linije $d_B$

$A\ [m^2]$ - maksimalna horizontalna projekcija tanka goriva do visine $H_w$ od dna tanka

$Z_l\ [m]$ - vertikalna udaljenost između teoretske osnovice i najniže točke promatranog tanka. Ako je $Z_l$ veća od veličine $D_S$, $Z_l$ treba uzeti kao $D_S$.

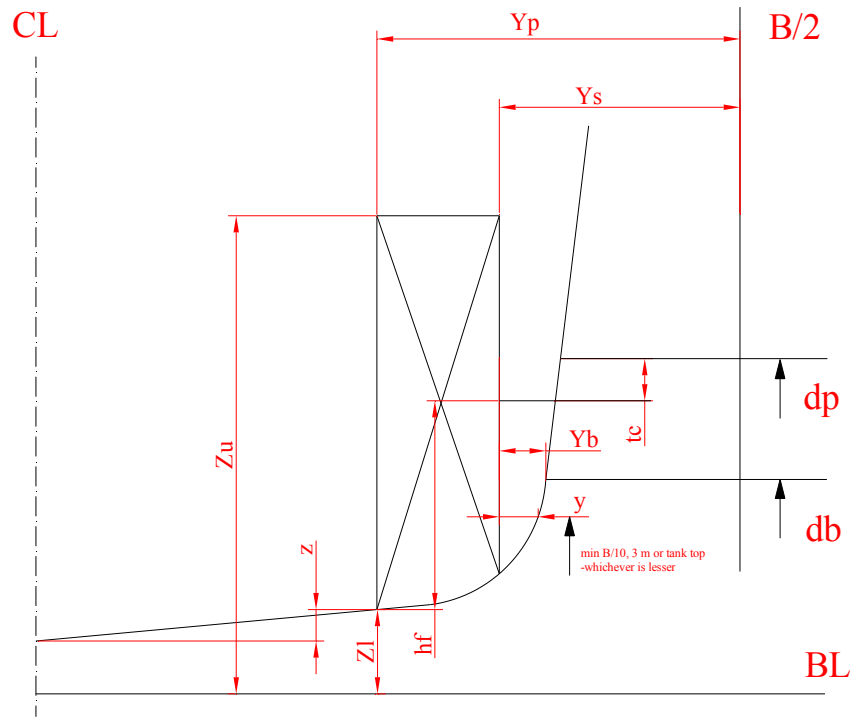
$Z_u\ [m]$ - vertikalna udaljenost između teoretske osnovice i najviše točke promatranog tanka. Ako je $Z_u$ veća od veličine $D_S$, $Z_u$ treba uzeti kao $D_S$.

$z\ [m]$ - minimalna udaljenost z po duljini tanka, gdje je, na bilo kojem mjestu, z vertikalna udaljenost od donje točke oplate dna na toj uzdužnoj poziciji do donje točke tanka na toj uzdužnoj poziciji

$C_{DB(i)} = 0,6$ - za tankove goriva koji granične s donje strane sa tankovima koji ne sadrže gorivo

$C_{DB(i)} = 1$ - za tankove goriva koji graniče sa oplatom dna

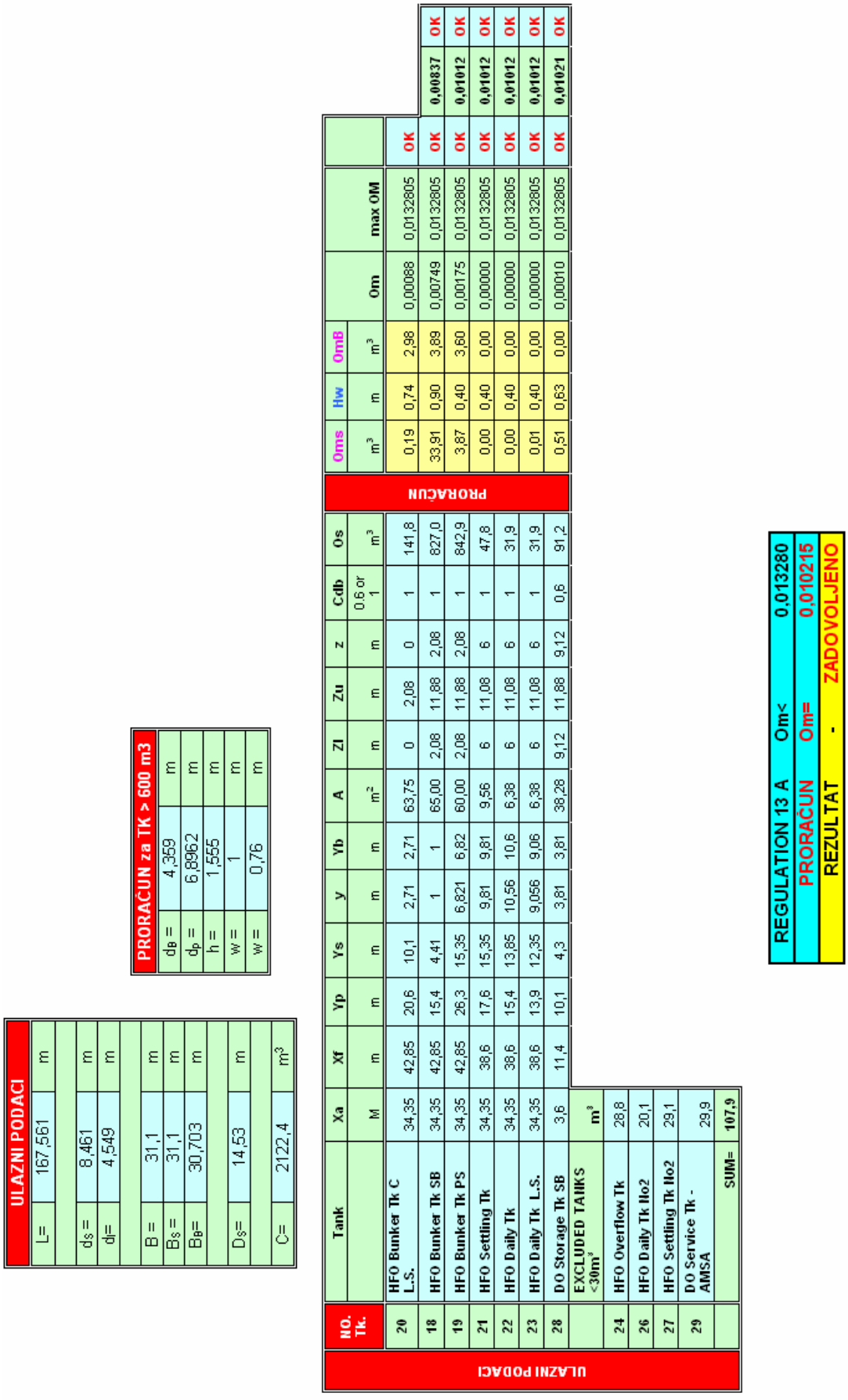
$O_{S(i)}\ [m^3]$ - istjecanje iz i-tog tanka u slučaju oštećenja pri čemu se pretpostavlja da je ta količina jednaka volumenu goriva u tanku pri 98% popunjenosti tanka




**Slika 26. Dimenzije tankova potrebne za proračun**

Tablica 26 pokazuje da je za pretpostavljeni raspored i dane veličine tankova goriva vjerojatnost istjecanja goriva manja od maksimalne dozvoljene vjerojatnosti, tj. proračunski parametar istjecanja goriva $O_M$ je manji od zahtjevanog. Time je prvi zahtjev iz projektnog zadatka zadovoljen.

**Tablica 26. Proračun vjerojatnosti istjecanja goriva u slučaju oštećenja**



| ULAZNI PODACI | | |
|---|---|---|
| L= | 167,561 | m |
| $d_S$ = | 8,461 | m |
| $d_I$= | 4,549 | m |
| B = | 31,1 | m |
| $B_S$ = | 31,1 | m |
| $B_B$= | 30,703 | m |
| $D_S$= | 14,53 | m |
| C= | 2122,4 | $m^3$ |

| PRORAČUN za TK > 600 m3 | | |
|---|---|---|
| $d_B$ = | 4,359 | m |
| $d_p$ = | 6,8962 | m |
| h = | 1,555 | m |
| w = | 1 | m |
| w = | 0,76 | m |

| ULAZNI PODACI | | | | | | | | | | | | | | PRORAČUN | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NO. Tk. | Tank | Xa | Xf | Yp | Ys | y | Yb | A | Zl | Zu | z | Cdb | Os | Oms | Hw | OmB | Om | max OM | |
| | | M | m | m | m | m | m | $m^2$ | m | m | m | 0.6 or 1 | $m^3$ | $m^3$ | m | $m^3$ | | | |
| 20 | HFO Bunker Tk C L.S. | 34,35 | 42,85 | 20,6 | 10,1 | 2,71 | 2,71 | 63,75 | 0 | 2,08 | 0 | 1 | 141,8 | 0,19 | 0,74 | 2,98 | 0,00088 | 0,0132805 | OK |
| 18 | HFO Bunker Tk SB | 34,35 | 42,85 | 15,4 | 4,41 | 1 | 1 | 65,00 | 2,08 | 11,88 | 2,08 | 1 | 827,0 | 33,91 | 0,90 | 3,89 | 0,00749 | 0,0132805 | OK |
| 19 | HFO Bunker Tk PS | 34,35 | 42,85 | 26,3 | 15,35 | 6,821 | 6,82 | 60,00 | 2,08 | 11,88 | 2,08 | 1 | 842,9 | 3,87 | 0,40 | 3,60 | 0,00175 | 0,0132805 | OK |
| 21 | HFO Settling Tk | 34,35 | 38,6 | 17,6 | 15,35 | 9,81 | 9,81 | 9,56 | 6 | 11,08 | 6 | 1 | 47,8 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,00000 | 0,0132805 | OK |
| 22 | HFO Daily Tk | 34,35 | 38,6 | 15,4 | 13,85 | 10,56 | 10,6 | 6,38 | 6 | 11,08 | 6 | 1 | 31,9 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,00000 | 0,0132805 | OK |
| 23 | HFO Daily Tk L.S. | 34,35 | 38,6 | 13,9 | 12,35 | 9,056 | 9,06 | 6,38 | 6 | 11,08 | 6 | 1 | 31,9 | 0,01 | 0,40 | 0,00 | 0,00000 | 0,0132805 | OK |
| 28 | DO Storage Tk SB | 3,6 | 11,4 | 10,1 | 4,3 | 3,81 | 3,81 | 38,28 | 9,12 | 11,88 | 9,12 | 0,6 | 91,2 | 0,51 | 0,63 | 0,00 | 0,00010 | 0,0132805 | OK |
| | EXCLUDED TANKS <30$m^3$ | $m^3$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | HFO Overflow Tk | 28,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | HFO Daily Tk No2 | 20,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | HFO Settling Tk No2 | 29,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | DO Service Tk - AMSA | 29,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SUM= | 107,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| REGULATION 13 A | Om< | 0.013280 |
|---|---|---|
| PRORAČUN | Om= | 0.010215 |
| REZULTAT | - | ZADOVOLJENO |

# 5. Analiza projekta

Ova faza projekta sastoji se od niza proračuna kojima se definiraju različite značajke broda kao cjeline. Značajke koje se definiraju znatno utječu na kvalitetu projekta, njegovu tehnologičnost u izgradnji, ali osobito pouzdanost, sigurnost, ekonomičnost i konkurentnost u eksploataciji. Osim toga većina proračuna podliježe odobrenju neke od klasifikacijskih ustanova kako bi se osiguralo zadovoljenje svih propisa koji su u službi sigurnosti broda, posade, tereta i okoline. Svaku odluku je potrebno pažljivo i promišljeno donositi, a za izradu potrebnih proračuna potrebno je imati odgovarajuću programsku podršku. Prilikom definiranje forme trupa, proračuna centracije, stabiliteta i dr., korišten je programski modul 'Seaking' koji je dio programskog sustava 'TRIDENT'. Podaci u daljnjem tekstu preuzeti su sa internet stranice tvrtke USCS (Uljanik Shipbuilding Computer Systems) [9].

## *5.1 TRIDENT*

TRIDENT je CAE (Computer aided engineering)/CAD (Computer aided design)/CAM (Computer aided manufacturing) sustav koji je razvijen kao integralni dio PTC® CADDS®5i u,nekadašnjem odjelu brodogradilišta 'Uljanik', a danas u tvrtci USCS koja je proizašla iz tog odjela. TRIDENT radi u CADDS®5i okruženja pa je zbog toga potpuno interaktivan, s mogućnošću rada u 3D te integrira sve podsustave u jedinstvenu bazu podataka. TRIDENT se sastoji od niza modula:

- Hull Form – modul za generiranje brodske forme
- Seaking – modul za izradu brodograđevnih proračuna
- Hull Structure – modul za izradu strukture trupa
- Nesting – modul za krojenje elemenata strukture
- Piping and HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) – modul za izradu cjevovoda
- Electrical – modul koji obuhvaća svu električku opremu na brodu

## *5.2 Seaking*

Seaking se sastoji od niza podsustava koji služe za izradu brodograđevnih proračuna:

- Proračuni bazirani na brodskoj formi (hidrostatika, stabilitet u neoštećenom stanju, naplavljivanje, porinuće, tonaža, površine rebara),
- Geometrijski proračuni za prostore (kapaciteti, sonde i proračun momenta žita),
- Proračuni za brod u oštećenom stanju,
- Stanja krcanja - stabilitet,
- Proračun otpora.

Svi podsustavi sastoje se od aplikacije, ulazne datoteke i izlazne datoteke. Ulazne i izlazne datoteke su u tekstualnom obliku. Modul je integralni što znači da su podsustavi međusobno zavisni, primjerice podaci o formi trupa broda koriste se u podsustavu za stabilitet, za definiranje odjeljaka i za proračun hidrostatičkih karakteristika forme. Za provedbu pojedinih proračuna potrebno je pokrenuti niz aplikacija od kojih neke služe za proračun, a druge su samo pomoćne za ispis podataka dobivenih proračunom. Osim toga svaki proračun sadrži podatke za

izradu pojedinih dijagrama koji se mogu automatski pozvati u sustavu 'CADDS' pri čemu se na zaslonu prikazuje dijagram u mjerilu za određeni proračunu koji se traži.

### 5.2.1 Hullform

Pomoću prvog aplikacijskog podsustava – Hullform – definirat će se forma trupa koja će se onda koristiti u svim drugim aplikacijama za potrebe proračuna. U ulaznu karticu se unose podaci potrebni za definiranje forme kao što su koordinate konture broda, vodnih linija i dr. Na provedbe algoritma, sustav kreira izlaznu datoteku u kojoj se nalaze koordinate svih presjeka forme te je forma u potpunosti definirana za potrebe proračuna.

### 5.2.2 Hydro

U podsustavu Hydro računaju se hidrostatičke značajke forme (istisnina, položaj težišta istisnine i visina metacentra) za različite gazove i kuteve trima. Aplikacija koristi podatke o prije definiranoj formi u Hullform-u, a u ulaznu datoteku se upisuju podaci kao što su raspon gazova, gustoća medija (vode) i sl.

### 5.2.3 Compart

U ovom podsustavu definiraju se svi odjeljci na brodu: pregrade, skladišta, tankovi, strojarnice i dr. U ulaznoj datoteci se upisuju koordinate pojedinih odjeljaka. Podsustav se sastoji od nekoliko aplikacija koje definiraju odjeljke s obzirom na formu trupa, računaju karakteristike tankova te ispisuju karakteristike odjeljaka (volumne, položaje težišta). Osim toga u ovom podsustavu nalazi se i aplikacija koja računa volumene, položaj težišta i promjene poluga zbog slobodne površine za različite kuteve nagiba. Ovi podaci se onda kasnije koriste u podsustavima za proračun stabiliteta u oštećenom i neoštećenom stanju.

### 5.2.4 Stab

Podsustav Stab koristi podatke o formi broda za proračun podataka potrebnih za provjeru stabiliteta u neoštećenom stanju. Ovdje još nisu poznati podaci o masama, tj. položaju težišta pa se računaju podaci za KN krivulje i minimalna zahtijevana metacentarska visina za pojedine gazove i kuteve nagiba. U samom podsustavu ugrađeni su kriteriji stabiliteta koje brod mora zadovoljiti pa se prema tome računaju zahtjevane metacentarske visine. Rezultat proračuna je izlazna datoteka u koji su ispisani proračunati podaci, a koji se u slijedećem podsustavu koriste za analizu pojedinih stanja krcanja, odnosno stabiliteta pojedinih stanja.

### 5.2.5 Loading

Loading vrši proračun stabiliteta i uzdužne čvrstoće za pojedina stanja krcanja. U jednu ulaznu datoteku se upisuju sve mase i težišta: trupa, tereta i opreme, a podaci o tankovima poznati su iz podsustava Compart. Osim masa upisuju se dozvoljeni momenti savijanja i smične

sile po presjecima broda koji su potrebni za proračun uzdužne čvrstoće. U drugu ulaznu datoteku upisuju se pojedina stanja krcanja u obliku postotka popunjenosti pojedinih odjeljaka (tankova i skladišta tereta). U izlaznoj datoteci nalaze svi podaci vezani uz stabilitet u neoštećenom stanju, uzdužnu čvrstoću i zadovoljenje istih s obzirom na definirane kriterije za pojedina stanja krcanja.

### 5.2.6 Damage

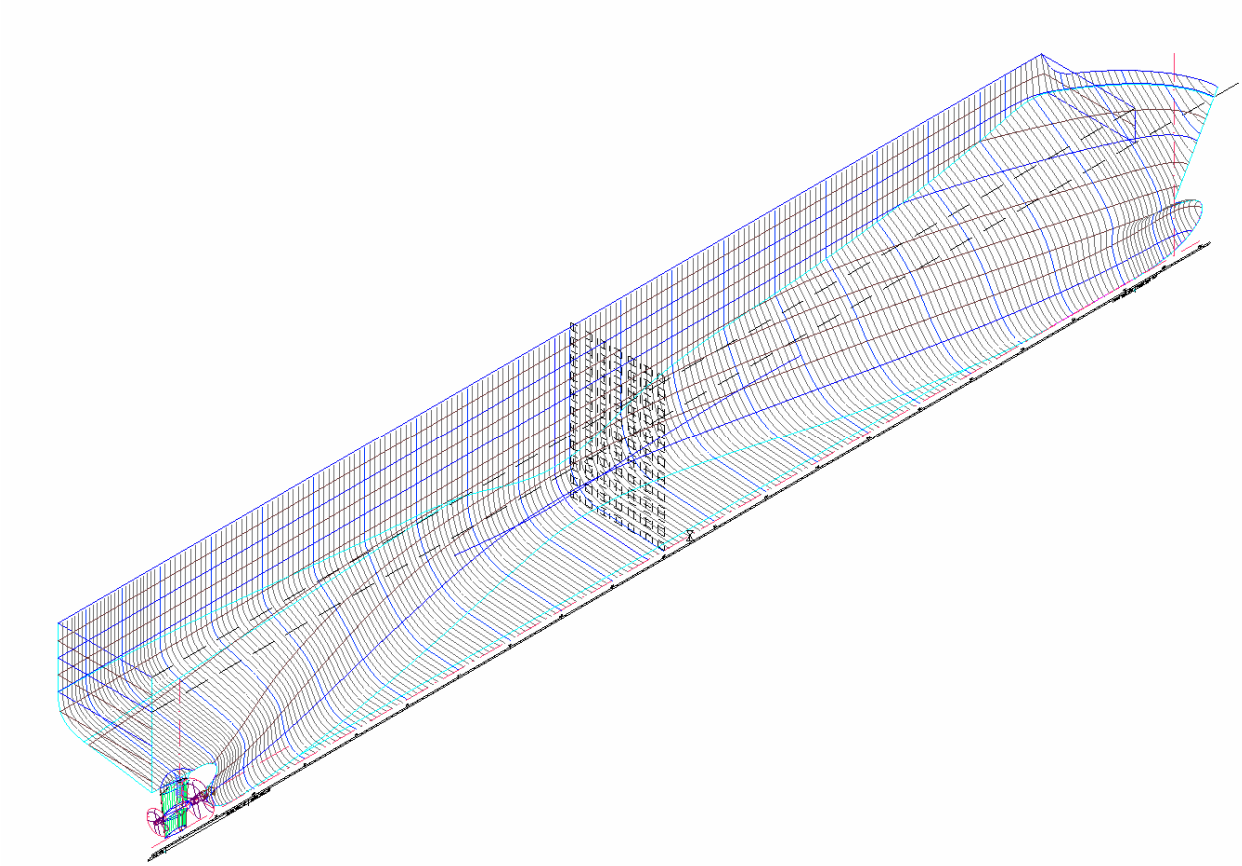
U ovom podsustavu vrši se proračun stabiliteta u oštećenom stanju. U ulaznoj datoteci definiraju se slučajevi oštećenja prema pojedinim zonama (prema pregrađivanju broda) te se definiraju koji tankovi se u pojedinim slučajevima oštećuju. Izlazna datoteka sadrži podatke o zadovoljenju kriterija stabiliteta u oštećenom stanju. Ovaj podsustav sadrži proračun indeksa pregrađivanja no u vrijeme izvođenja proračuna za ovaj diplomski zadatak je bio u fazi testiranja pa se on vrši posebno (ovdje je taj dio proračuna proveden pomoću tabličnog kalkulatora 'Excel').

### 5.2.7 Speed

Ovaj podsustav također spada u modul Seaking iako nije direktno vezan za prethodne proračune. U ulaznoj datoteci definiraju se potrebni podaci o motoru, snazi, broju okretaja i podaci o volumenu istisnine, položaju težišta istisnine, itd. Rezultat proračuna su podaci prognoze brzine kao i predviđene karakteristike propelera i karakteristike forme trupa. Proračun se temelji na metodi Guldhammer i Harvald iz ispitivačkog bazena u Goeteborgu.

## *5.3 Forma trupa*

Forma trupa definirana je modulu Hull Form i to u 3D sustavu. Forma je preuzeta od gradnje 428 uz male izmjene. Izmijenjena je forma krme broda iznad vodene linije na taj način što je zgib zaobljen kako bi se smanjila površina ravnog dijela oplate i izbjegla oštećenja krme uslijed udaranja o valove. Projektirani brod je jednake veličine kao gradnja 428, a forma se na pokusnoj plovidbi pokazala odličnom glede otpora pa nema nikakvih potreba za drugim izmjenama. Na sljedećim slikama prikazan je model forme trupa te nacrti rebara i vodnih linija.



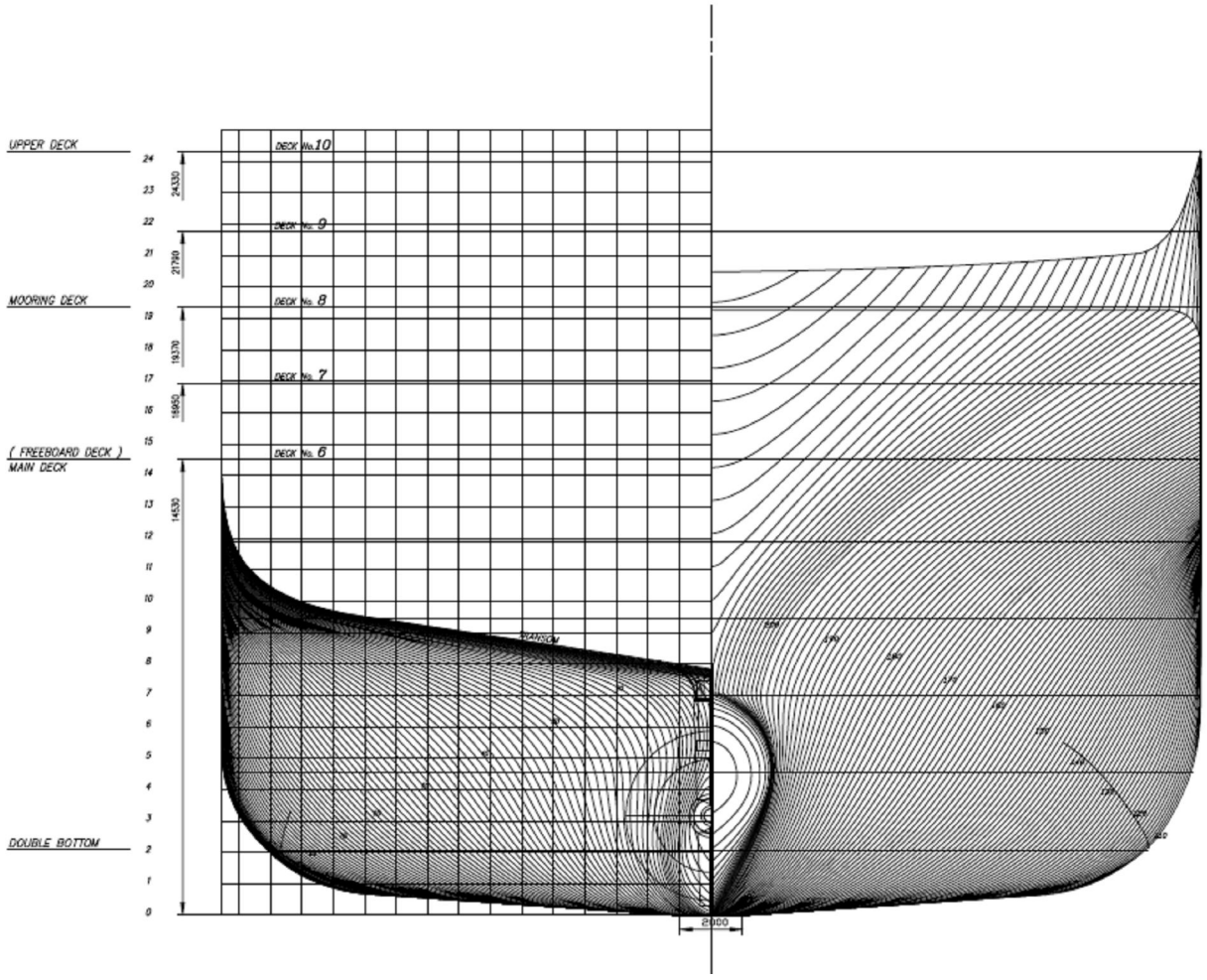
**Slika 27. 3D model forme**

## FRAME SPACING

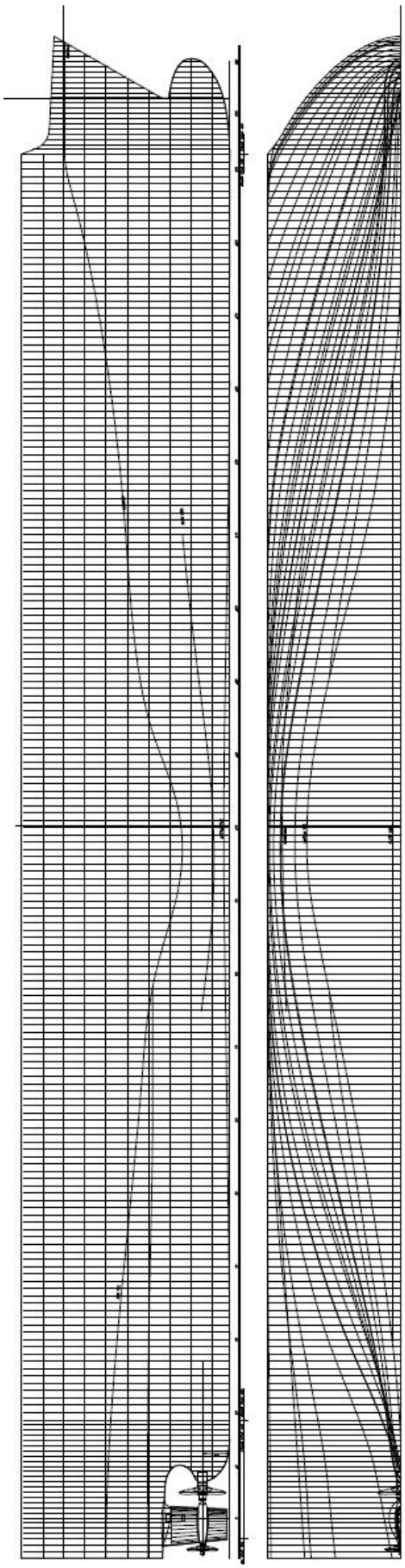
FRAME-4 – 19 ____ 600
19 –192 ____ 850
192 – 213 ____ 600

## MAIN PARTICULARS

| | |
|---|---|
| LENGTH OVERALL | About 176.85 m |
| LENGTH B PP | 165.0 m |
| BREADTH MOULDED | 31.10 m |
| DEPTH TO UPPER DECK | 24.33 m |
| DEPTH TO MAIN DECK | 14.53 m |
| DRAUGHT DESIGN | 7.70 m |
| DISPLACEMENT | 20874 t |
| CB | 0.514 |
| LCB | –1.579 m |




**Slika 28. Poprečni presjek**



**Slika 29. Uzdužni presjek**

## *5.4 Opći plan*

Općim planom definiran je smještaj pojedinih prostora na brodu, tankova i odjeljaka. Opći plan je napravljen ne temelju općeg plana gradnje 428, ali sa svim izmjenama koje su u ovom projektu napravljene, a to se prije svega odnosi na tankove goriva te na izmijenjene dimenzije strojarnice. Brod je podijeljen na glavne prostore prema poprečnim pregradama i funkcijama koje pojedini prostori imaju. Raspored poprečnih vodonepropusnih pregrada i glavni prostora na brodu dan je u sljedećoj tablici.

**Tablica 27. Raspored poprečnih pregrada i prostora projekta**

| Ime prostora | Razmak između pregrada | |
|---|---|---|
| | Rebro | |
| | od | do |
| Krmeni pik | -7 | 19 |
| Strojarnica | 19 | 46 |
| Teretni prostor br. 4 | -7 | 51 |
| Teretni prostor br. 3 | 51/56 | 101 |
| Teretni prostor br. 2 (do 6. palube) | 101 | 146 |
| Teretni prostor br. 1 (iznad 6. palube) | 146 | 192 |
| Silos stočne hrane (do 6. palube) | 146 | 176 |
| Duboki tank | 176 | 183 |
| Prostor pramčanog porivnika | 183 | 192 |
| Pramčani pik | 192 | 214 |

U daljnjem tekstu dani su detaljniji podaci o pojedinim prostorima jer su ti podaci važni za kasnije definiranja masa i težišta masa, odnosno, potrebni su za proračun stabiliteta za različita stanja krcanja broda.

### 5.4.1 Tankovi

Projekt sadrži ukupno 41 tank različitih namjena (balast, pitka voda za stoku, gorivo, mazivo ulje, fekalije i dr.). Položaj svih tankova na općem planu prikazan je na nacrtu koji se nalazi u Prilogu. Popis svih tankova sa volumenom i položajem težišta nalazi se u sljedećoj tablici, a numeracija tankova u tablici odgovara numeraciji tankova na nacrtu u Prilogu.

**Tablica 28. Položaji težišta i volumeni tankova i skladišta stočne hrane**

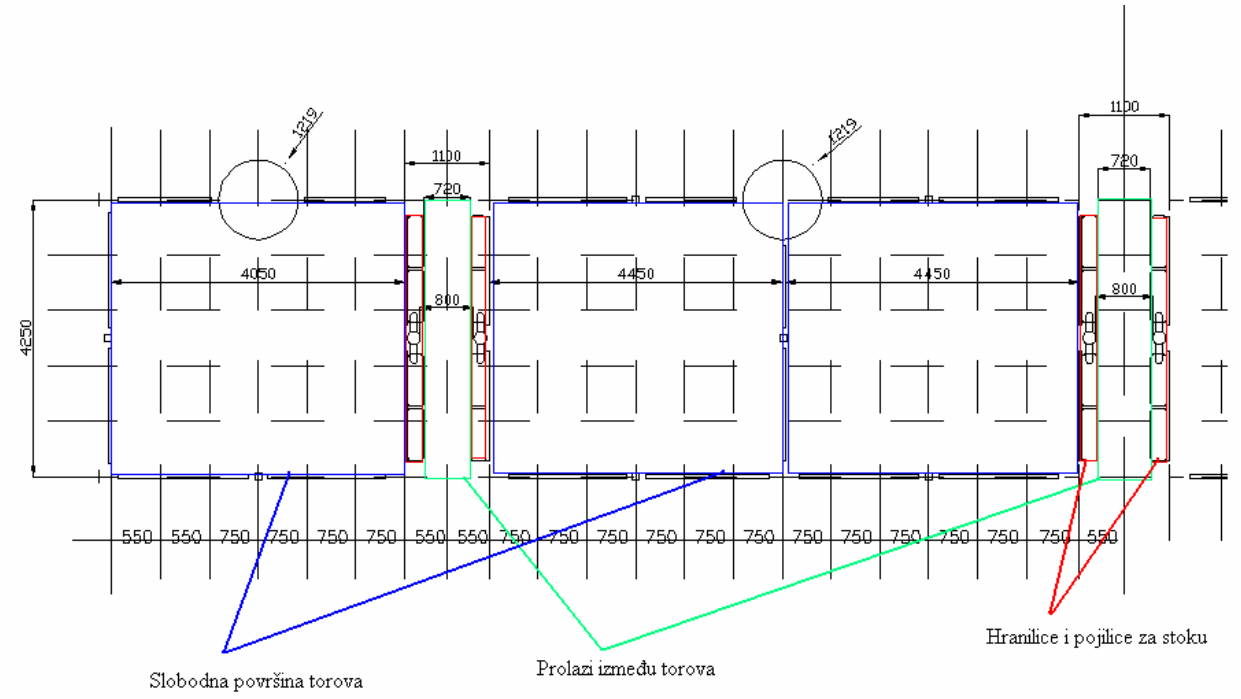
| Broj odijeljka | Ime odijeljka | Volumen | Udaljenost težišta od | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | LPP/2 | osnovice | CL-a |
| | | $m^3$ | m | m | m |
| 1 | Fore Peak WB | 493 | 79,89 | 9,541 | 0 |
| 2 | Deep Tank WB/Dung Holding | 422,9 | 65,26 | 6,722 | -0,039 |
| 43 | Dung Transver Tank | 74 | 57,75 | 0 | 0 |
| 3 | DB/Wing Tk No1 SB WB | 262,6 | 45,57 | 2,255 | 3,643 |
| 4 | DB/Wing Tk No1 PS WB | 262,6 | 45,57 | 2,255 | -3,634 |
| 5 | After Peak Cooling FW | 64,8 | -73,44 | 3,333 | 0 |
| 6 | Fresh W.Tk SB | 82,9 | -84,44 | 10,445 | 7,995 |
| 7 | Fresh W.Tk PS | 82,9 | -84,44 | 10,445 | -7,995 |
| 17 | Fresh W.Tk Fore | 16,7 | 71,67 | 13,203 | -6,176 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 8 | DB Tk No2 SB WB/FW | 290,2 | 13,12 | 1,342 | 7,914 |
| 9 | DB Tk No2 PS FW/WB | 290,2 | 13,12 | 1,342 | -7,914 |
| 10 | DB Tk No2 C FW/WB | 726,4 | 17,24 | 1,096 | 0 |
| 11 | DB Tk No3 SB FW/WB | 349,3 | -17,48 | 1,341 | 8,189 |
| 12 | DB Tk No3 PS FW/WB | 349,3 | -17,48 | 1,341 | -8,189 |
| 13 | DB Tk No3 C FW | 732,4 | -20,1 | 1,094 | 0 |
| 14 | Fresh W Coll Tk Aft | 30,4 | -58,58 | 8,008 | -7,851 |
| 16 | Fresh W Coll Tk Fore | 29,6 | 72,41 | 13,266 | 6,081 |
| 15 | Feed Water Tk | 11,8 | -63,79 | 8,294 | 7,009 |
| 18 | Bunker Tank SB HFO | 827 | -43,61 | 7,534 | 8,011 |
| 19 | Bunker Tank PS HFO | 842,9 | -43,66 | 7,553 | -5,947 |
| 20 | HFO Low Sulphur Tk | 141,8 | -43,68 | 1,037 | 0 |
| 21 | HFO Settling Tk No1 | 47,8 | -46,03 | 8,54 | -1,125 |
| 22 | HFO Daily Tk No1 | 31,9 | -46,03 | 8,54 | 0,75 |
| 23 | HFO Daily Tk LS | 31,9 | -46,03 | 8,54 | 2,25 |
| 24 | HFO Overflow Tk | 28,8 | -52,92 | 1,206 | -3,172 |
| 25 | FO/LO Drain Tk | 8,3 | -58,22 | 1,27 | -2,674 |
| 26 | HFO Daily Tk No2 | 20,1 | -75,58 | 11,003 | 9,58 |
| 27 | HFO Settling Tk No2 | 29,1 | -72,29 | 10,788 | 7,889 |
| 28 | DO Storage Tk SB | 91,2 | -74,93 | 10,826 | 7,891 |
| 29 | DO Service Tk AMSA | 29,9 | -79,8 | 10,405 | 7,989 |
| 31 | M.Eng.L.O.Storage Tk | 20,5 | -68,55 | 10,441 | -10,292 |
| 32 | M.E.Cyl.Oil St.Tk | 31,7 | -66,42 | 10,392 | -10,28 |
| 33 | A.Eng.L.Oil Drain Tk | 7,2 | -69,83 | 7,45 | 0 |
| 34 | A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 7,4 | -69,83 | 10,39 | -6,75 |
| 35 | M.Eng.L.O.Circ.Tk | 16,1 | -55,38 | 1,096 | 0 |
| 36 | Renovating L.Oil Tk | 57,8 | -65,21 | 1,12 | 0 |
| 38 | Stern T.L.O.Drain Tk | 8,3 | -70,23 | 1,134 | 0 |
| 38 | Bilge Water Coll.Tk | 46,9 | -53,04 | 1,213 | 3,164 |
| 40 | Separators Sludge Tk | 13 | -59,2 | 8,338 | -6,822 |
| 41 | Drain/Sludge Tk | 12,1 | -74,38 | 8,246 | 0 |
| 42 | Holding Tank | 55,4 | 64,34 | 13,086 | -8,071 |
| 60 | Fooder silos SB | 2584,5 | 48,41 | 10,239 | 5,629 |
| 61 | Fooder silos PS | 2584,5 | 48,41 | 10,239 | -5,629 |

### 5.4.2 Teretni prostor

Teretni prostor proteže se od 1. do 9. palube po visini i između poprečnih pregrada, kako je već prije definirano, koje dijele teretni prostor na tri dijela. Glavni parametar za smještaj tereta je slobodna površina tora. Slobodna površina tora je ona površina palube na koju se smještaju životinje i ne obuhvaća površine za smještaj prolaza i prilaza, strukture za zaštitu životinja i površine potrebne za smještaj opreme za teret. Na početku radnje je opisano da je teret živa stoka koja se smješta unutar torova. Svaki tor je ograđen kako bi se ograničio prostor za smještaj određenog broja stoke. Veličina tora, odnosno dimenzije tora, kao i minimalna površina po glavi stoke potrebnih za smještaj stoke definirani su AMSA-inim pravilima [4] pa je opći plan teretnog prostora, tj. razmještaja tereta potrebno prilagoditi tim propisima.

Propisi koji se odnose na dimenzije tora definirane se u tablici 5, točke 6.1 u [4]. Kao rezultat tih propisa i razmaka uzdužnog i poprečnog ukrepljenja broda, dobivene su sljedeće dimenzije tora:




**Slika 30. Dimenzije tora i pripadnog prolaza**

**Tablica 29. Položaji težišta i volumeni tankova i skladišta stočne hrane**

| Veličina | Dimenzija | Zahtijevano | Projekt |
|---|---|---|---|
| Maksimalna širina | m | 4,5 | 4,45 |
| Minimalna širina | m | 2,1 | |
| Minimalna duljina | m | 2,3 | 4,25 |
| Maksimalna čista površina unutar tora | $m^2$ | 21,0 | 18,913 |
| Maksimalna visina gornjeg ruba najniže šipke ograde tora iznad poda tora između torova | mm | 600 | 600 |
| Minimalna čista visina unutar tora | m | 1,8 | 2,1 |
| Minimalna širina susjednih prolaza, mjerena između ograda, kada se torovi s obje strane prolaza, a stoka se iskrcava kroz torove | m | 1,0 | 1,1 |
| Minimalna širina susjednih prolaza, mjerena između bilo koje fiksne strukture, kada se torovi s obje strane prolaza, a stoka se iskrcava kroz torove | m | 0,7 | 0,72 |
| Minimalna širina susjednih prolaza, mjerena između ograda, kada se torovi nalaze samo s jedne strane prolaza | m | 0,75 | 0,75 |

Prilikom opisa općeg plana gradnje 428 dan je popis torova po palubama s brojem torova, ukupnom površinom i položaje težišta. Na projektu je bilo potrebno napraviti određene izmjene, glede strukturnih tankova zbog novih propisa, koje su uzrokovale smanjenje korisnog teretnog prostora odnosno površine paluba. U slijedećoj tablici dan je novi popis torova pri čemu je broj i površina torova na palubama 1-4 umanjena za prostor koji su zauzeli tankovi goriva.

**Tablica 30. Raspored torova po palubama**

| Pozicija | Broj torova | Površina ($m^2$) | LCG (m) | VCG (m) |
|---|---|---|---|---|
| Paluba 9 R. -7 - 51 | 56 | 992,88 | 17,189 | 21,887 |
| Paluba 9 R. 51 - 101 | 55 | 981,21 | 58,151 | 21,887 |
| Paluba 9 R. 101 - 146 | 53 | 943,23 | 100,408 | 21,887 |
| Paluba 9 R. 146 – 192 | 54 | 976,02 | 138,621 | 21,887 |
| Paluba 9 ukupno | 218 | 3893,34 | 78,115 | 21,887 |
| Paluba 8 R. -7 - 51 | 56 | 978,05 | 17,053 | 19,437 |
| Paluba 8 R. 51 - 101 | 55 | 978,78 | 58,151 | 19,437 |
| Paluba 8 R. 101 - 146 | 53 | 941,13 | 100,407 | 19,437 |
| Paluba 8 R. 146 – 192 | 54 | 976,06 | 138,621 | 19,437 |
| Paluba 8 ukupno | 218 | 3874,02 | 78,315 | 19,437 |
| Paluba 7 R. -7 - 51 | 56 | 983,88 | 17,103 | 16,987 |
| Paluba 7 R. 51 - 101 | 54 | 942,79 | 57,434 | 16,987 |
| Paluba 7 R. 101 - 146 | 54 | 943,9 | 110,295 | 16,987 |
| Paluba 7 R. 146 – 192 | 52 | 900,93 | 138,015 | 16,987 |
| Paluba 7 ukupno | 216 | 3771,5 | 76,889 | 16,987 |
| Paluba 6 R. -7 - 51 | 50 | 870,66 | 18,686 | 14,551 |
| Paluba 6 R. 51 - 101 | 53 | 900,48 | 56,984 | 14,551 |
| Paluba 6 R. 101 - 146 | 53 | 918,28 | 100,583 | 14,551 |
| Paluba 6 R. 146 – 186 | 44 | 714,01 | 135,141 | 14,551 |
| Paluba 6 ukupno | 200 | 3403,43 | 75,347 | 14,551 |
| Paluba 5 R. -7 - 51 | 44 | 753,92 | 15,611 | 11,887 |
| Paluba 5 R. 51 - 101 | 56 | 950,49 | 58,708 | 11,887 |
| Paluba 5 R. 101 - 146 | 51 | 854,89 | 100,922 | 11,887 |
| Paluba 5 ukupno | 151 | 2559,3 | 60,113 | 11,887 |
| Paluba 4 R. 56 - 101 | 52 | 857,3 | 62,170 | 9,437 |
| Paluba 4 R. 101 - 146 | 49 | 801,53 | 99,681 | 9,437 |
| Paluba 4 ukupno | 101 | 1658,83 | 80,295 | 9,437 |
| Paluba 3 R. 56 - 101 | 52 | 823,34 | 63,040 | 6,987 |
| Paluba 3 R. 101 - 146 | 46 | 731,28 | 98,534 | 6,987 |
| Paluba 3 ukupno | 98 | 1554,62 | 79,736 | 6,987 |
| Paluba 2 R. 56 - 101 | 47 | 737,74 | 64,550 | 4,537 |
| Paluba 2 R. 101 - 146 | 41 | 643,62 | 97,585 | 4,537 |
| Paluba 2 ukupno | 88 | 1381,36 | 79,942 | 4,537 |
| Paluba 1 R. 56 – 101 | 33 | 510,04 | 64,230 | 2,137 |
| Paluba 1 R. 101 – 146 | 31 | 476,03 | 97,703 | 2,137 |
| Paluba 1 ukupno | 64 | 986,07 | 80,389 | 2,137 |
| Palube 1-9 ukupno | 1354 | 23082,5 | 76,425 | 14,602 |
| Paluba 9 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 44,95 | 56,210 | 21,887 |
| Paluba 8 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 41,17 | 54,006 | 19,437 |
| Paluba 7 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 39,37 | 52,331 | 16,987 |
| Paluba 6 - torovi za bolesnu stoku | 4 | 35,43 | 78,563 | 14,551 |
| Paluba 5 - torovi za bolesnu stoku | 5 | 37,27 | 66,523 | 11,887 |
| Paluba 4 - torovi za bolesnu stoku | 6 | 30,6 | 90,205 | 9,437 |
| Paluba 3 - torovi za bolesnu stoku | 6 | 30,1 | 87,419 | 6,987 |
| Paluba 2 - torovi za bolesnu stoku | 6 | 29,33 | 86,069 | 4,537 |
| Paluba 1 – torovi za bolesnu stoku | 2 | 15,57 | 86,449 | 2,137 |
| Torovi za bolesnu stoku - ukupno | 44 | 303,79 | 70,230 | 13,42 |
| Napomena: VCG je vertikalna udaljenost od osnovice do pojedine palube, potrebno je dodati VCG životinja iznad razine palube. | | | | |

Ukupna površina torova za smještaj stoke umanjena je za 23378,85 - 23082,5 = 296,35 $m^2$, a ukupna površina torova (zajedno sa površinom torova za smještaj bolesne stoke) iznosi 23386,3 $m^2$. U projektnom zadatku traži se ukupna površina torova od 23 800 $m^2$, ali tu površinu nije moguće postići s izmjenama na postojećem projektu gradnje 428 već, ukoliko se želi zadržati postojeća površina torova, a da se pri tom zadovolje svi novi propisi, potrebno je promijeniti glavne dimenzije broda i time povećati površine paluba i raspoloživu površinu za smještaj tereta. S obzirom da takva izmjena nije cilj ovog projekta, nova, umanjena površina torova postaje mjerilo nosivosti tereta projektiranog broda.

U opći plan ovog projekta unesena je još jedna izmjena koja nije postojala na gradnji 428. Iako ona nije zahtijevana projektnim zadatkom, ta izmjena će se koristiti u budućim projektima broda za prijevoz žive stoke u brodogradilištu 'Uljanik' pa je uključena i u ovaj projekt kao zanimljivo rješenje koje poboljšava sigurnost stoke i broda. Radi se o feederima za skladištenje stočne hrane. Naime, sva hrana se na brodu do svakog pojedinog tora dostavlja pomoću automatiziranih konvejera. Vertikalni konvejeri dopremaju stočnu hranu iz skladišta do najgornje palube gdje se putem horizontalnih konvejera doprema do vertikalnih cijevi kroz koje hrana gravitacijski pada do hranilica svakog tora. U slučaju kvara bilo kojeg od tih konvejera, hrana se mora raznositi ručno kolicima do svakog tora što neminovno iziskuje veći broj posade – veće nadgrađe – veći trošak.. Feederi stočne hrane su jednostavno rješenje koje rješava taj nedostatak. Feederi su cijevi promjera 2,25 m koji se protežu duž cijele gornje palube. Oni se mogu napuniti hranom, pomoću konvejera, te mogu sadržavati dovoljnu količinu hrane za tjedan dana. Hrana iz feedera također pada slobodno, gravitacijski do svakog tora pa nema potrebe za dodatnom mehanizacijom. Na taj način se smanjuje broj posade odnosno stoke koja neće gladovati u slučaju kvara konvejera.

Svi gore navedeni podaci prikazani su i grafički u nacrtu općeg plana u Prilogu na kraju ovog rada.

## *5.5 Glavno rebro*

Proračun i dimenzioniranje cijele brodske konstrukcije je zahtjevan i opsežan postupak. U ovom dijelu projekta razmotrit će se opterećenja i dimenzije elemenata koji čine poprečni presjek glavnog rebra broda. To je početni proračun kod analize dimenzija elemenata brodske konstrukcije. Sam proračun je proveden prema pravilima registra Det Norske Veritas [11] u programu 'Nauticus hull' koji izdaje registar.

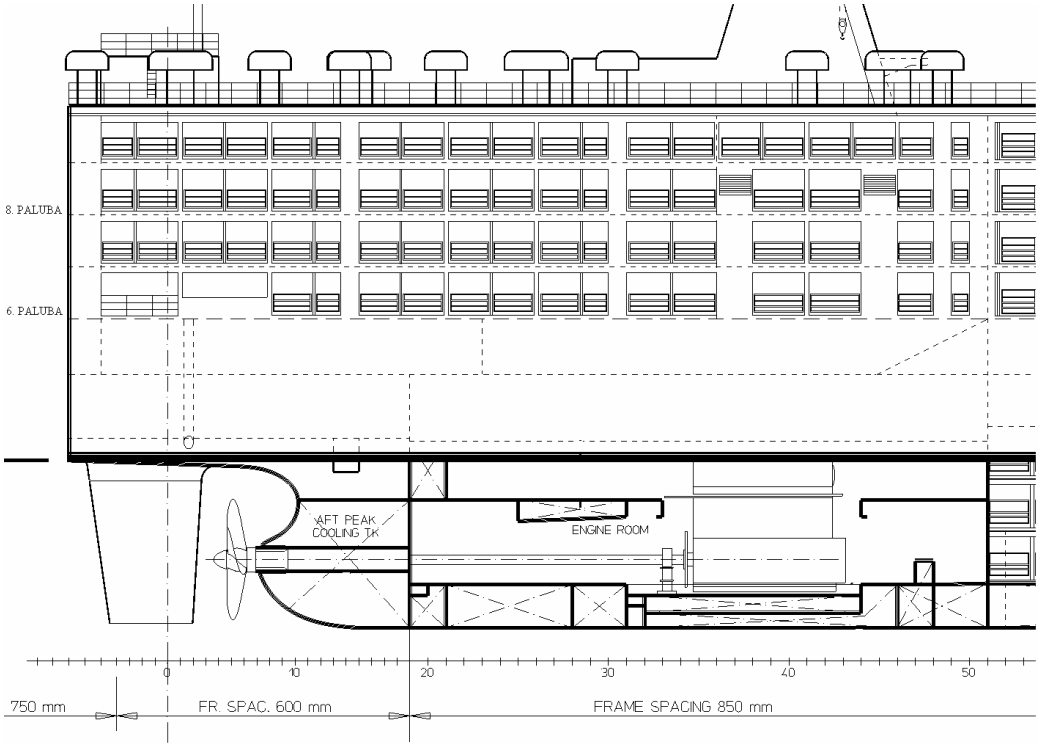
Ulazni podaci sastoje se iz dva dijela. U prvom dijelu unose se opći podaci o brodu: glavne dimenzije, brzina, razmak rebara i sl. te momenti savijanja broda na mirnoj vodi prema stanjima krcanja koja su obrađena kasnije. Drugi dio ulaznih podataka sastoji se od generiranja geometrije poprečnog presjeka-glavnog rebra u dijelu programa koji se naziva ' Rule check' i definiranja lokalnog opterećenja paluba. Pokretanjem proračuna dobiva se izlazna datoteka u kojoj su navedeni svi ulazni podaci te da li pojedini elementi konstrukcije glavnog rebra imaju zadovoljavajuće dimenzije s obzirom na definirana opterećenja.

Proračun izvijanja upora je proveden uz pomoć aplikacije 'Buckling of bars and beams', Version 10.25 Hull, June 2007. Aplikaciju je također izdao registar DNV pa je i sam proračun proveden prema pravilima tog registra.

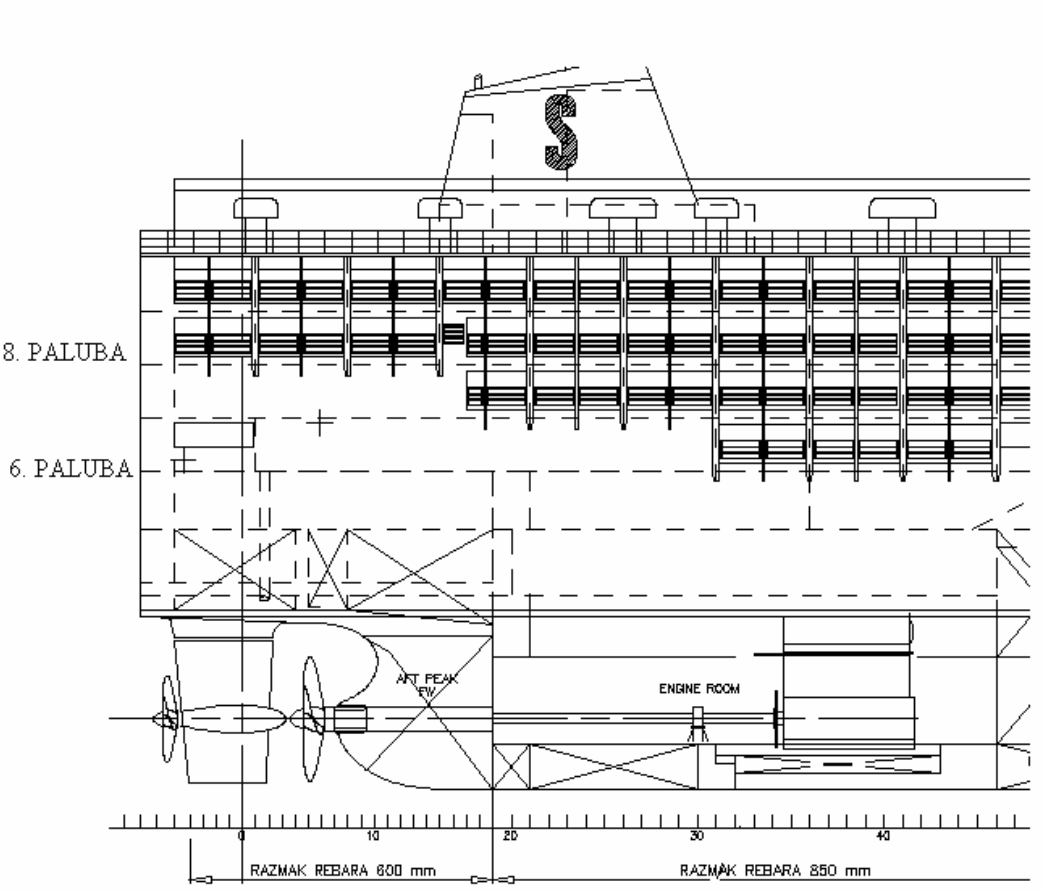
### 5.5.1 Usporedba s gradnjom 428

Glavno rebro projekta izrađeno je na temelju glavnog rebra gradnje 428, ali uz određene razlike. Prva razlika je u tome što su tankovi u dvodnu izmijenjeni s obzirom na gradnju 428 pa ne postoji uzvojni tank balasta koji se proteže do 2. palube, tj. 1. paluba se proteže od boka do boka broda.

Druga razlika vezana je uz strukturu boka iznad 6. palube. Sva struktura (orebrenje) kod gradnje 428 nalazi se s unutarnje strane oplate boka. Struktura s unutarnje strane je jako nepraktična kod brodova za prijevoz žive stoke jer se stoka prilikom valjanja na moru može ozlijediti na orebrenje, a i čišćenje torova je znatno otežano jer se prljavština zadržava u prostorima između ukrepa. Potrebno je stoga, unutarnje orebrenje zaštiti limom do određene visine kako bi površina boka teretnog prostora bila ravna. Postavljanje dodatnog lima otežava konstrukciju. Rješenje kod kojeg je sva struktura boka iznad palube nadvođa (6. palube) smještena s vanjske strane oplate rješava sve navedene nedostatke te ujedno povećava korisnu površinu torova za približno 300 $m^2$. Još jedna značajnija izmjena tiče se uzdužne čvrstoće broda. Brod za prijevoz žive stoke je iznad palube nadvođa potpuno otvoren radi bolje ventilacije i lakše konstrukcije. Međutim postoji i manjkavost takve konstrukcije s obzirom na uzdužnu čvrstoću. S obzirom da je veza gornjih paluba sa strukturom ispod palube nadvođa oslabljenja, smatra se da gornje palube ne sudjeluju u uzdužnoj čvrstoći. Na gradnji 428, paluba nadvođa (6. paluba) je ujedno paluba čvrstoće pa su limovi palube debljine 21-23 mm, a s tim u vezi su i uzdužnjaci i nosači značajnih dimenzija što značajno utječe na ukupnu masu strukture. Cilj je bio da se konstrukcija olakša tako da palube iznad 6. palube sudjeluju u uzdužnoj čvrstoći, odnosno da 8. paluba bude paluba čvrstoće. Zbog veće udaljenosti tih paluba od neutralne linije, debljine limova i dimenzije profila palube čvrstoće bi se znatno umanjile i tako olakšale konstrukciju. Sudjelovanje 7. i 8. palube u uzdužnoj čvrstoći postiglo se tako da se dio oplate boka na krmi i pramcu zatvorio čime se struktura ukrutila, a strukturna analiza modela, provedena Katedri za konstrukciju plovnih objekata Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, pokazala je da 7. i 8. paluba na taj način potpuno sudjeluju u uzdužnoj čvrstoći. Na taj način je za projektirani brod paluba čvrstoće postala 8. paluba s debljinom opločenja od samo 6.5 mm kako će kasnije biti vidljivo u rezultatima proračuna.




**Slika 31. Gradnja 428 - prikaz otvorenog boka iznad 6. palube**




**Slika 32. Projekt – prikaz zatvorenog boka na krmenom dijelu iznad 6. palube**

## 5.5.2 Ulazni podaci

| | |
|---|---|
| Rule edition | Jan. 2007 |
| Program version | 10.25.8430 |

**Ship Identification**
**Vessel ID: 119**

| | |
|---|---|
| ID No.....: | 119 |
| Date/Sign.....: | 2008-05-14 |

**Cross Section Identification**
**Glavno rebro**

| | |
|---|---|
| Midship section? .....: | Yes |
| Frame No.....: | 103+700 |
| Distance from AP.....(m): | 83.500 |
| Date/Sign.....: | 2008-05-21 |

**Main Dimensions:**

| | |
|---|---|
| Length betw. perpendiculars, Lbp.....(m): | 165.00 |
| Rule length, L.....(m): | 163.00 |
| Breadth moulded, B.....(m): | 31.10 |
| Depth moulded, D.....(m): | 19.37 |
| Draught moulded, T.....(m): | 7.70 |
| Block coefficient, Cb | 0.51 |

**General Ship Data:**

| | |
|---|---|
| Maximum service speed, V.....(knots): | 19.80 |
| Bilge keel? .....: | Yes |
| Active roll damping facility? .....: | No |
| No of decks above 0.7D from baseline.....: | 6 |
| Height from base to top of ship side .....(m): | 14.530 |

**Continuous Strength Members above Strength Deck** None

**Class notations** Optional check for Cb<0.7

**Hull Section Material (Strength group & yield point (N/mm2))**

| | Amidships | | Current cross-sect. | |
|---|---|---|---|---|
| Location | Group | Yield | Group | Yield |
| - Bottom.....: | NV-NS | 235.00 | NV-NS | 235.00 |
| - Deck.....: | NV-NS | 235.00 | NV-NS | 235.00 |
| - Between bottom and deck.....: | NV-NS | 235.00 | NV-NS | 235.00 |

**Specified Bending Moments**

(Based on actual cargo/ballast conditions)
Considered cross-section: 83.500 m from AP.

| Specified bending moments: | Amidships | Current cross-sect. |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| - Still water, sagging.....: | 1.00 | 0.00 |
| - Still water, hogging.....: | 1200000.00 | 0.00 |
| - Wave, sagging.....: | 580748.00 | 0.00 |
| - Wave, hogging.....: | 861575.00 | 0.00 |
| - Wave, horizontal.....: | 365639.03 | 0.00 |

**Spacing between Transverse Frames**

(Where the frame spacing changes along the ship)
Position of frame 0: 0 mm aft of A.P..

Frame Nos where the spacing changes:

| Frame No | Spacing forward (mm) |
|---|---|
| 0 | 600.00 |
| 19 | 850.00 |
| 192 | 600.00 |

## 5.5.3 Podaci o poprečnom presjeku

| | EFFECTIVE Cut-outs subtracted | GROSS Cut-outs disreg. |
|---|---|---|
| Cross sectional area of the longitudinal elements.....($cm^2$): | 34110.29 | 40430.67 |
| Position of the centroid: Ycg.....(mm): | -0.04 | -0.03 |
| Position of the centroid: Zcg.....(mm): | 7793.29 | 10034.14 |
| Moment of inertia about the horz. neutral axis, Ih.....($m^4$): | 143.56 | 256.93 |
| Moment of inertia about the vert. neutral axis, Iv.....($m^4$): | 306.38 | 380.03 |
| Product of inertia about the neutral axes, Ihv.....($m^4$): | 0.00 | 0.00 |
| SECTION MODULUS, BOTTOM (z = 0 mm) .....($m^3$): | 18.42 | 25.61 |
| SECTION MODULUS, DECK LINE (z = 19370 mm) .....($m^3$): | 12.40 | 27.52 |
| SECTION MODULUS, AT SIDE (y = 15550 mm) .....($m^3$): | 19.70 | 24.44 |
| First moment of the area above the neutral axis, S.....($cm^3$): | 18073335.71 | 14305200.99 |
| I/S.....(cm): | 794.33 | 1796.05 |

DESCRIPTION:

Gross — Results based on the given scantlings.

Effective — Results based on the effective cross-sectional area, as follows:
Possible cut-outs are subtracted (plates only).
The area of plates and stiffeners are multiplied by the given bending efficiency for the related panel.

### 5.5.4 Proračunski momenti savijanja

| AT ACTUAL POSITION (83.5 m from AP) | SAGGING (kNm) | HOGGING (kNm) |
|---|---|---|
| Still water bending moments: | | |
| - Standard values according to Rules, Ms.....: | 596376.46 | 867545.99 |
| - Given as input (actual cargo/ballast conditions) .....: | 1.00 | 1200000.00 |
| Design still water bending moments, Ms.....: | 1.00 | 1200000.00 |
| Design wave bending moments, Mw.....: | 580748.00 (Input) | 861575.00 (Input) |
| Design wave bending moments, Mw for buckling check.....: | 580748.00 (Input) | 861575.00 (Input) |
| Horizontal wave bending moment acc. to Rules, Mwh.....(kNm): | 365639.03 | |

NOTE: The wave bending moments are given as input.

### 5.5.5 Zahtjevi uzdužne čvrstoće trupa

| | BOTTOM | DECK | SIDE |
|---|---|---|---|
| Material strength group.....: | NV-NS | NV-NS | NV-NS |
| Yield point of material.....($N/mm^2$): | 235.00 | 235.00 | 235.00 |
| Material factor, f1.....: | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Stress factor, f2.....: | 0.64 | 0.95 | |
| Speed factor, Cav.....: | 0.31 | | |
| Speed/flare factor, Caf.....: | 0.31 | | |
| Wave coefficient, Cw.....: | 9.15 | | |
| Wave coefficient, Cwo.....: | 9.15 | | |
| Wave coefficient, Cwu.....: | 9.15 | | |

AT ACTUAL POSITION ( 83.5 m from AP) (Midship section)

| | BOTTOM | DECK |
|---|---|---|
| Minimum section modulus, Zo.....($m^3$): | 9.82 | 9.82 |
| Section modulus requirement based on design bending moments: | | |
| - Sagging (1 kNm).....($m^3$): | 3.32 | 3.32 |
| - Hogging (1200000 kNm) .....($m^3$): | 11.78 | 11.78 |
| Rule section modulus.....($m^3$): | 11.78 | 11.78 |
| Combined stresses at bilge and deck corners.....($N/mm^2$): | 115.46 | 168.68 |
| Minimum moment of inertia.....($m^4$): | 44.87 | |
| Minimum section modulus at side.....($m^3$): | 4.15 | |

GUIDANCE:
The required section modulus along the hull girder will normally be satisfied when calculated for the midship section only,
provided the following rules for tapering are complied with:

- Scantlings at bottom and deck are kept unaltered within 0.4L amidships.
- Scantlings outside 0.4L amidships are gradually reduced to the local requirements at the ends, and the same material strength group is applied over the full length of the ship.

NOTE: The wave bending moments given as input are used in the requirements above.

## 5.5.6 Pregled karakteristika uzdužne čvrstoće trupa

| | ACTUAL | RULE | STATUS (%) (100=Rule) |
|---|---|---|---|
| Cross-sectional area.....($cm^2$): | 34110.29 | | |
| Height to the neutral axis.....(mm): | 7793.29 | | |
| Moment of inertia.....($m^4$): | 143.56 | 44.87 | 319.98 |
| Section modulus, bottom.....($m^3$): | 18.42 | 11.78 | 156.37 |
| Section modulus, deck line (z = 19370 mm) .....($m^3$): | 12.40 | 11.78 | 105.27 |
| Material factor, f1, bottom.....: | 1.00 | | |
| Material factor, f1, deck.....: | 1.00 | | |
| Stress factor, f2, bottom.....(Rules): | 0.64 | | |
| Stress factor, f2, deck.....(Rules): | 0.95 | | |

Design bending moments used as basis for the Rule Section moduli:
Bottom (hogging): Still w. = 1200000 kNm (Input), Wave = 861575 kNm (Input)
Deck (hogging): Still w. = 1200000 kNm (Input), Wave = 861575 kNm (Input)

## 5.5.7 Odjeljci

| Ref. | Comp. group (Comp. type) | Comp No | Frame No aft | Frame No fwd | Restr. filling (*) | Coated (*) | Volume (m3) | Contents WB / Oil / Liq / Hliq / Bulk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | DB Tk No2 SB | | | | | * | 301.00 | WB |
| 2 | DB Tk No2 SB | | | | | * | 301.00 | WB |
| 3 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 4 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 5 | DB Tk No2 SB | | | | | * | 301.00 | WB |
| 6 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 7 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 8 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 9 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 10 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 11 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |
| 12 | Hold No2 | | | | | * | 13529.70 | |

### 5.5.8 Lokalna opterećenja paluba

AMSA [4] propisuje opterećenje strukture na koju se smješta stoka. Opterećenje je definirano sljedećim izrazom:

$$F = \left[1 + \frac{1}{d}\left((0{,}094 - 0{,}00035L)y + (7{,}4 - 0.016L)\right)\right]$$

$$F = 8048{,}2 \text{ N/m}^2$$

$$F = 0{,}82 \text{ t/m}^2$$

pri čemu su:

| | |
|---|---|
| $F$ | - opterećenje palube [kN/m$^2$] |
| $d = 7{,}808$ | - gaz broda koji odgovara najlakšem stanju s teretom (stanje krcanja br. 5 prema proračunu za stanja krcanja za stabilitet u neoštećenom stanju) |
| $y$ | - uzdužna udaljenost od sredine tora do sredine broda [m] |
| $L$ | - udaljenost između okomica broda [m] |

Vidljivo je iz gornjeg izraza da za definiranje opterećenja paluba uzeta u obzir i vertikalna akceleracija na brodu uslijed poniranja jer se prvi dio izraza množi s položajem tora po dužini. Prilikom proračuna opterećenja, aplikacija 'Rule check' također uzima u obzir vertikalnu akceleraciju pa da se akceleracija ne bi dvaput uzimala u obzir, kao ulazno opterećenje palube dano je opterećenje od 0,62 t/m$^2$. To opterećenje, kada se uzme u obzir akceleracija, na kraju ispada upravo kako AMSA nalaže 0.82 t/m$^2$.

Opterećenje 10. palube definirano je prema zahtjevu registra za palube za smještaj posade.

| Load No. | Stowage rate, ro t/m$^3$ | Stowage height, H mm | Extent (dist. from CL) | | Panel |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $y_1$ mm | $y_2$ mm | |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15397.59 | 'tween deck 4530 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 6980 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 9430 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 11880 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 14530 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 16950 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 19370 |
| 1 | 0.62 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 21790 |
| 1 | 0.35 | 1000.00 | 0.00 | 15550.00 | 'tween deck 24330 |

### 5.5.9 Podaci uključeni u proračun strukture

| | |
|---|---|
| Distance from AP to considered section.....(m): | 83.50 |
| Moment of inertia about the horz. neutral axis, Ih.....(m$^4$): | 143.56 |
| Moment of inertia about the vert. neutral axis, Iv.....(m$^4$): | 306.38 |
| Section modulus, bottom.....(m$^3$): | 18.42 |

| | | |
|---|---|---|
| Section modulus, deck line (z = 19370 mm) .....($m^3$): | 12.40 | |
| Height from base line to the neutral axis.....(mm): | 793.29 | |
| STRESS FACTOR F2* AT ACTUAL POSITION: | | |
| f2b* (f2* at bottom).....: | 0.64 | |
| f2d* (f2* at deck).....: | 0.95 | |
| f2bh* (f2* at bottom, hogging).....: | 0.64 | |
| DESIGN BENDING MOMENTS | | |
| Still water bending moment, sagging.....(kNm): | 1.00 | (Input) |
| Still water bending moment, hogging.....(kNm): | 1200000.00 | (Input) |
| Wave bending moment, sagging.....(kNm): | 580748.00 | (Input) |
| Wave bending moment, hogging.....(kNm): | 861575.00 | (Input) |
| MOTION PARAMETERS: | | |
| Acceleration parameter, ao.....: | 0.48 | (Rules) |
| Period of roll, Tr.....(s): | 14.50 | (Rules) |
| Pitch angle, theta.....(rad/deg): | 0.23 | / 13 (Rules) |
| Roll angle, Fi.....(rad/deg): | 0.42 | / 24 (Rules) |
| Vertical acceleration, av.....($m/s^2$): | 6.39 | (Rules) |
| Ballast draught, Tb.....(m): | 6.14 | (Input) |

NOTE: The wave bending moments are given as input.

## 5.5.10 Dimenzije strukture – opločenja i uzdužni nosači

| Plate No | ACT | t-act [mm] | Steel | Eff. [%] | Spac [mm] | | Sigf [N/mm$^2$] | $f_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOC | | | t_loc [mm] | Loc. ref. | $z_l$ [mm] | Comp ref. | Sigma [N/mm$^2$] | p [kN/m$^2$] |
| BUC | | | t_buc [mm] | Buc. ref. | $z_b$ [mm] | SigL [N/mm$^2$] | Sig_c [N/mm$^2$] | Sig_cr [N/mm$^2$] |
| **Bottom and side** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 18,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 16,15 | Min | 0 | | 120,0 | 103,6 |
| | BUC | | 10,73 | | 0 | 111,9 | 198,8 | 124,3 |
| 2 | ACT | 14,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,52 | Min | 0 | | 120,0 | 103,6 |
| | BUC | | 10,73 | | 0 | 111,9 | 173,1 | 124,3 |
| 3 | ACT | 14,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,52 | Min | 202 | | 120,0 | 101,8 |
| | BUC | | 10,52 | | 280 | 107,9 | 173,2 | 119,9 |
| 4 | ACT | 14,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,52 | Min | 358 | | 120,0 | 100,4 |
| | BUC | | 10,45 | | 384 | 106,4 | 173,2 | 118,2 |
| 5 | ACT | 14,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,52 | Min | 565 | | 120,0 | 100,4 |
| | BUC | | 10,35 | | 539 | 104,2 | 173,2 | 115,7 |
| 6 | ACT | 15,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,95 | Min | 1079 | | 98,5 | 100,1 |
| | BUC | | 14,73 | | 943 | 98,4 | 113,7 | 109,3 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | ACT | 16,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,90 | Min | 2387 | | 98,5 | 90,9 |
| | BUC | | 14,45 | | 1376 | 92,2 | 126,6 | 102,4 |
| | | | | | | | | |
| 8 | ACT | 15,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 12,59 | Min | 2942 | | 98,5 | 86,5 |
| | BUC | | 13,13 | | 2942 | 69,7 | 90,1 | 69,7 |
| | | | | | | | | |
| 9 | ACT | 13,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 11,52 | Min | 5067 | | 98,5 | 68,8 |
| | BUC | | 8,58 | | 5067 | 39,2 | 90,0 | 39,2 |
| | | | | | | | | |
| 10 | ACT | 13,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 11,52 | Min | 7405 | | 98,5 | 48,3 |
| | BUC | | 3,05 | | 7356 | 6,3 | 114,3 | 6,3 |
| | | | | | | | | |
| 11 | ACT | 13,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 11,52 | Min | 9855 | | 98,5 | 36,2 |
| | BUC | | 7,08 | | 12196 | 17,8 | 60,1 | 17,8 |
| | | | | | | | | |
| 12 | ACT | 13,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 11,52 | Min | 12305 | | 98,5 | 25,5 |
| | BUC | | 8,85 | | 14826 | 28,5 | 61,4 | 28,5 |
| | | | | | | | | |
| 13 | ACT | 12,0 | std | 100 | 850 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 11,52 | Min | 14955 | | 98,5 | 13,8 |
| | BUC | | 10,88 | | 19370 | 46,8 | 57,0 | 46,8 |
| | | | | | | | | |
| **Inner Bottom** | | | | | | | | |
| 1-4 | ACT | 12,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 10,89 | Min | 2080 | 12 | 140,0 | 77,0 |
| | BUC | | 9,32 | | 2080 | 82,0 | 148,5 | 91,2 |
| | | | | | | | | |
| 5 | ACT | 14,0 | std | 100 | 750 | | 1235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 10,89 | Min | 2080 | 12 | 129,8 | 77,0 |
| | BUC | | 9,32 | | 2080 | 82,0 | 98,9 | 91,2 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 4530** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 6,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 4530 | 12 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 5,96 | | 4530 | 46,9 | 47,5 | 46,9 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 6980** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 5,5 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 6980 | 11 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 2,98 | | 6980 | 11,7 | 39,9 | 11,7 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 9430** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 5,5 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 9430 | 10 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 2,24 | | 9430 | 6,6 | 39,9 | 6,6 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 11880** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 5,5 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 11880 | 9 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 3,54 | | 11880 | 16,5 | 39,9 | 16,5 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 14530** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 5,5 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 14530 | 8 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 4,55 | | 14530 | 27,3 | 39,9 | 27,3 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 16950** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 6,0 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 16950 | 7 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 5,30 | | 16950 | 37,0 | 47,5 | 37,0 |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 19370** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 6,5 | std | 100 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 19370 | 4 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | 5,96 | | 19370 | 46,8 | 55,7 | 46,8 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **tween deck 21790** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 5,5 | std | 0 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 21790 | 3 | 160,0 | 8,1 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **tween deck 24330** | | | | | | | | |
| 1-6 | ACT | 5,5 | std | 0 | 750 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 5,50 | Min | 24330 | 6 | 160,0 | 4,6 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Bottom girder 0** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 17,0 | std | 100 | 650 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 14,02 | Min | 325 | 5 | 113,5 | 77,0 |
| | BUC | | 9,00 | | 0 | 111,9 | 206,1 | 111,9 |
| | | | | | | | | |
| **Bottom girder 5050** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 12,5 | std | 100 | 626 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 10,76 | Min | 1754 | 5 | 130,0 | 77,0 |
| | BUC | | 8,31 | | 854 | 99,6 | 181,9 | 99,6 |
| | | | | | | | | |
| **Bottom girder 10650** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 12,5 | std | 100 | 706 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 10,76 | Min | 1021 | 1 | 130,0 | 77,0 |
| | BUC | | 9,59 | | 668 | 102,3 | 161,9 | 102,3 |
| | | | | | | | | |
| **Long. girder 550, 5050, 9550, 10650, deck 2-5,7, 9** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 8,0 | std | 100 | 250 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 6,63 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Flange 550, 5050, 9550, 10650, deck 2-5,7, 9** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 10,0 | std | 100 | 40 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 6,63 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Long. girder 550, 5050, 9550, 10650, deck 6** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 8,0 | std | 100 | 450 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 6,63 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Flange 550, 5050, 9550, 10650, deck 6** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 10,0 | std | 100 | 40 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 6,63 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Long. girder 550, 5050, 9550, 10650, deck 8** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 9,0 | std | 100 | 310 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 6,63 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Flange 550, 5050, 9550, 10650, deck 8** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 10,0 | std | 100 | 100 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 6,67 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Long. girder 550, 5050, 9550, 10650, deck 10** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 10,0 | std | 100 | 490 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 9,26 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| **Flange 550, 5050, 9550, 10650, deck 10** | | | | | | | | |
| 1 | ACT | 10,0 | std | 100 | 40 | | 235,0 | 1,00 |
| | LOC | | 9,26 | Min | 0 | | 0,0 | 0,0 |
| | BUC | | | | | | | |

## 5.5.11 Dimenzije strukture – uzdužnjaci

| Stiff. No | ACT ACT | Pos $Z_a$ [$cm^3$] | K c | Type Type | h t [mm] | $b_f$ $t_f$ [mm] | $\sigma_f$ $f_1$ [$N/mm^2$] | m $w_k$ | $t_{kw}$ $t_{kf}$ [mm] | $t_{pl}$ [mm] | span spac [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOC | | | $Z_r$ [$cm^3$] | excess [%] | $t_{min}$ [mm] | load Ref. | $\sigma$ [$N/mm^2$] | $\sigma_{DB}$ [$N/mm^2$] | p [$kN/m^2$] | Comp ref. | $a_{conn}$ [$cm^2$] |
| FAT/BUC | | | $Z_{rf}$ [$cm^3$] | excess [%] | $p_d$ [$kN/m^2$] | $\sigma_d$ [$N/mm^2$] | $\sigma_L$ [$N/mm^2$] | Lat [$N/mm^2$] | Torsion [$N/mm^2$] | Web [$N/mm^2$] | $b_f/t_f$ |
| **Bottom** | | | | | | | | | | | |
| 1-15 | ACT | Bottom | 0,00 | 20,00 | 370 | 0 | 235 | 12,0 | 1,5 | 14 | 4250 |
| | ACT | 1216 | 0,0 | Hpbulb | 13,0 | 0,0 | 1,00 | 1,09 | 1,5 | | 750 |
| | LOC | | 980 | 24 | 9,8 | Sea | 128,1 | 20,0 | 102,5 | | 3,6 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 110,1 | 234,8 | 230,5 | 220,4 | 0,0 |
| **Inner Bottom** | | | | | | | | | | | |
| 1-15 | ACT | Inbot | 0,00 | 20 | 300 | 0 | 235,0 | 12,0 | 1,5 | 12,0 | 4250 |
| | ACT | 689 | 0,0 | Hpbulb | 12,0 | 0,0 | 1,00 | 1,09 | 1,5 | | 750 |
| | LOC | | 641 | 7 | 9,8 | Min | 147,2 | 20,0 | 77,0 | 12 | 3,4 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 82,0 | 234,7 | 228,4 | 223,4 | 0,0 |
| **tween deck 4530** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 6,0 | 4250 |
| | ACT | 78 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 57 | 37 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 8,1 | 12 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 16,9 | 233,0 | 212,5 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 6980** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 77 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 57 | 36 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 8,1 | 11 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 11,7 | 233,1 | 214,1 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 9430** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 77 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 57 | 36 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 8,1 | 10 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 6,6 | 233,1 | 214,3 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 11880** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 77 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 57 | 36 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 8,1 | 9 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 16,5 | 233,1 | 214,0 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 14530** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 77 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 59 | 30 | 6,6 | Gen | 153,3 | 0,0 | 8,1 | 8 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 27,3 | 233,1 | 213,2 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 16950** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 77 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 57 | 36 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 8,1 | 9 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 16,5 | 233,1 | 214,0 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 19370** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 160 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 6,5 | 4250 |
| | ACT | 107 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 89 | 19 | 6,6 | Gen | 101,8 | 0,0 | 8,1 | 4 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 46,8 | 233,6 | 215,0 | 227,5 | 0,0 |
| **tween deck 21790** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 140 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 77 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 57 | 36 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 8,1 | 3 | 0,3 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 233,1 | 212,3 | 229,3 | 0,0 |
| **tween deck 24330** | | | | | | | | | | | |
| 1-18 | ACT | twdk | 0,00 | 20 | 120 | 0 | 235,0 | 12,0 | 0,0 | 5,5 | 4250 |
| | ACT | 56 | 0,0 | Hpbulb | 7,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 750 |
| | LOC | | 32 | 74 | 6,6 | Gen | 160,0 | 0,0 | 4,6 | 6 | 0,2 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 232,2 | 212,6 | 229,3 | 0,0 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bottom girder 0** | | | | | | | | | | | |
| 1-2 | ACT | Dbgird | 0,00 | 20 | 120 | 0 | 235,0 | 0,0 | 1,5 | 17,0 | 0 |
| | ACT | 69 | 0,0 | Hpbulb | 8,0 | 0,0 | 1,00 | 0,00 | 1,5 | | 683 |
| | LOC | | 0 | | 0,0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| **Bottom girder 5050** | | | | | | | | | | | |
| 1-2 | ACT | Dbgird | 0,00 | 20 | 120 | 0 | 235,0 | 0,0 | 1,5 | 12,5 | 0 |
| | ACT | 65 | 0,0 | Hpbulb | 8,0 | 0,0 | 1,00 | 0,00 | 1,5 | | 587 |
| | LOC | | 0 | | 0,0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| **Bottom girder 10650** | | | | | | | | | | | |
| 1 | ACT | Dbgird | 0,00 | 20 | 120 | 0 | 235,0 | 0,0 | 1,5 | 12,5 | 0 |
| | ACT | 66 | 0,0 | Hpbulb | 8,0 | 0,0 | 1,00 | 0,00 | 1,5 | | 706 |
| | LOC | | 0 | | 0,0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 |
| | FAT/BUC | | 0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

## 5.5.12 Dimenzije strukture – poprečnjaci boka

| **Stiff. No** | **ACT ACT** | **Pos $Z_a$ [$cm^3$]** | **K c** | **Type Type** | **h t [mm]** | **$b_f$ $t_f$ [mm]** | **$s_f$ $f_1$ [$N/mm^2$]** | **m $w_k$** | **$t_{kw}$ $t_{kf}$ [mm]** | **$t_{pl}$ [mm]** | **span spac [mm]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOC** | | | **$Z_r$ [$cm^3$]** | **excess [%]** | **$t_{min}$ [mm]** | **Load Ref.** | **s [$N/mm^2$]** | | **p [$kN/m^2$]** | **Comp ref.** | **$a_{conn}$ [$cm^2$]** |
| | | | | | | | | | | | |
| **Side panel** | | | | | | | | | | | |
| 1 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | 10,0 | 0,0 | 15,0 | 2420 |
| | ACT | 304 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 265 | 15 | 8,3 | Sea | 160,0 | 0 | 84,4 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 2 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | 10,0 | 0,0 | 13,0 | 2420 |
| | ACT | 300 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 197 | 52 | 8,3 | Sea | 160,0 | 0 | 62,9 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 3 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | 10,0 | 0,0 | 13,0 | 2420 |
| | ACT | 300 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 136 | 120 | 8,3 | Sea | 160,0 | 0 | 43,5 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 4 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | 10,0 | 0,0 | 13,0 | 2420 |
| | ACT | 300 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 103 | 192 | 8,3 | Sea | 160,0 | 0 | 32,7 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 5 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | 10,0 | 0,0 | 15,0 | 2420 |
| | ACT | 300 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 67 | 344 | 8,3 | Sea | 160,0 | 0 | 21,5 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 6 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | 10,0 | 0,0 | 15,0 | 2420 |
| | ACT | 297 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 32 | 816 | 8,3 | Sea | 160,0 | 0 | 10,4 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 7 | ACT | S. Bott | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | | 0,0 | 12,0 | 2420 |
| | ACT | 297 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 15 | | 8,3 | | | 0 | 0,0 | 4 | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 8 | ACT | | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | | 0,0 | 0,0 | 0 |
| | ACT | 0 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 0,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 0 | | 0,0 | | | 0 | 0,0 | | 0,0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 9 | ACT | | 0,00 | 20 | 220 | 0,0 | 235,0 | | 0,0 | 0,0 | 0 |
| | ACT | 0 | | Hpbulb | 10,0 | 0,0 | 1,00 | 1,00 | 0,0 | | 850 |
| | LOC | | 0 | | 0,0 | | | 0 | 0,0 | | 0,0 |

### 5.5.13 Upore

Upore su dimenzionirane pomoću aplikacije 'Buckling of bars and beams' prema pravilima registra DNV prema kritičnoj sili izvijanja. Upore preuzimaju opterećenje s palube te ga prenose na dno broda gdje se izjednačuju s tlakom mora koji djeluje na opločenje dna te se prenosi na strukturu na koju se oslanjaju upore. Površina palube koja preuzima opterećenje palube računa se prema sljedećem izrazu:

$$A_{DK} = l \cdot b \, [m^2]$$

pri čemu su:

$l = 4,25$ - duljina dijela palube koja preuzima opterećenje i prenosi ga na uporu (pola između razmaka dviju upora u uzdužnom smjeru broda na jednu i na drugu stranu promatrane upore)

$b$ - širina dijela palube koji preuzima opterećenje i prenosi ga na uporu (pola između razmaka dviju upora u poprečnom smjeru broda na jednu i na drugu stranu promatrane upore)

Sila na uporu računa se prema izrazu:

$$F = p \cdot A_{DK} \, [kN]$$

pri čemu su:

$p = q \cdot (g + 0,5a_v)$ $[kN/m^2]$ - tlak koji djeluje na promatrani dio palube

$q = q_t + q_s$ $[t/m^2]$ - opterećenje paluba koje se prenosi na uporu

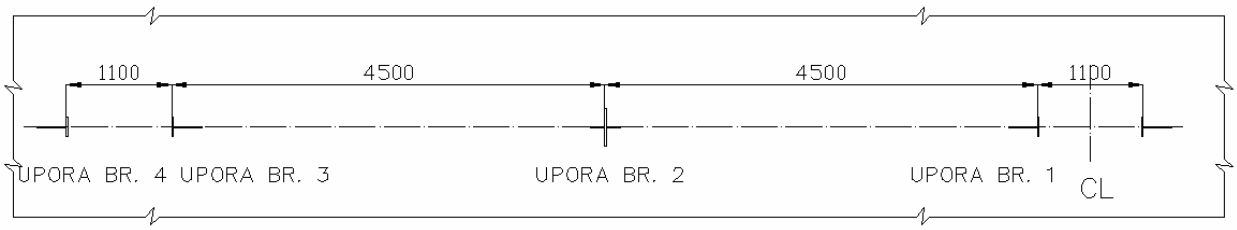
$q_t$ - opterećenje tereta

$q_s$ - opterećenje strukture palube

$a_v = 6,39 \, [m/s^2]$ - vertikalna akceleracija prema 5.5.9

Površina poprečnog presjeka upore na smije biti manja od vrijednosti dobivene prema izrazu (DNV Pt.3 Ch.1 Sec.8 E):

$$A_{min} = 0,07 A_{DK} \cdot p \, [m^2]$$




**Slika 33. Raspored upora**

**Tablica 31. Dimenzije i opterećenja upora**

| Dimenzije upore br. 1 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | l | struk | | pojas | | $A_p$ | $A_{min}$ | F | $\sigma_a$ | $\sigma_{acr}$ | $\eta_a$ | $\eta_a \leq 0,6$ |
| | [m] | h [mm] | t [mm] | b [mm] | t [mm] | [$cm^2$] | [$cm^2$] | [kN] | [MPa] | [MPa] | - | |
| 9-10 | 2040 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 13,7 | 195,4 | 54,3 | 158,3 | 0,343 | OK |
| 8-9 | 2160 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 18,1 | 259,1 | 72 | 152,3 | 0,472 | OK |
| 7-8 | 1840 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 22,6 | 322,9 | 89,7 | 159,1 | 0,564 | OK |
| 6-7 | 2160 | 100 | 16 | 200 | 16 | 48 | 27,1 | 386,6 | 80,5 | 153,6 | 0,524 | OK |
| 5-6 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 31,9 | 455,3 | 56,9 | 151,9 | 0,375 | OK |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4-5 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 36,3 | 519,0 | 64,9 | 151,9 | 0,427 | OK |
| 3-4 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 41,2 | 589,3 | 73,7 | 151,9 | 0,485 | OK |
| 2-3 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 46,2 | 659,7 | 82,5 | 151,9 | 0,543 | OK |
| 1-2 | 2190 | 200 | 20 | 300 | 20 | 100 | 50,6 | 723,5 | 72,4 | 174,8 | 0,414 | OK |

**Dimenzije upore br. 2**

| | l | ϕ [mm] | | t [mm] | | $A_p$ | $A_{min}$ | F | $\sigma_a$ | $\sigma_{acr}$ | $\eta_a$ | $\eta_a \leq 0,6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | | | | | [cm$^2$] | [cm$^2$] | [kN] | [MPa] | [MPa] | - | |
| 9-10 | 2040 | 1219 | | 7 | | 266,53 | 8,0 | 114,5 | 4,3 | 235 | 0,018 | OK |
| 8-9 | 2160 | 1219 | | 7 | | 266,53 | 15,2 | 217,0 | 8,1 | 235 | 0,035 | OK |
| 7-8 | 1840 | 1219 | | 7 | | 266,53 | 22,4 | 319,5 | 12 | 235 | 0,051 | OK |
| 6-7 | 2160 | 1219 | | 7 | | 266,53 | 29,5 | 421,9 | 15,8 | 235 | 0,067 | OK |

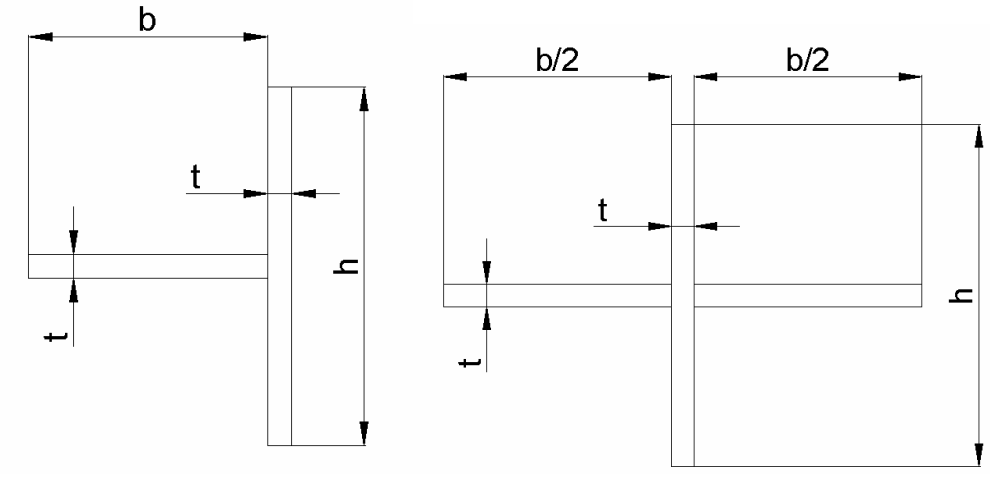
| | l | struk | | pojas | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | h [mm] | t [mm] | b [mm] | t [mm] | | | | | | | |
| 5-6 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 37,3 | 532,3 | 66,5 | 151,9 | 0,438 | OK |
| 4-5 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 44,4 | 634,7 | 79,3 | 151,9 | 0,522 | OK |
| 3-4 | 2190 | 200 | 20 | 300 | 20 | 100 | 52,3 | 747,6 | 74,8 | 174,8 | 0,428 | OK |
| 2-3 | 2190 | 200 | 20 | 300 | 20 | 100 | 60,3 | 860,9 | 86,1 | 174,8 | 0,493 | OK |
| 1-2 | 2190 | 200 | 20 | 300 | 20 | 100 | 67,4 | 963,3 | 96,3 | 174,8 | 0,551 | OK |

**Dimenzije upore br. 3** (jednaka upori br. 1)

| | l | struk | | pojas | | $A_p$ | $A_{min}$ | F | $\sigma_a$ | $\sigma_{acr}$ | $\eta_a$ | $\eta_a \leq 0,6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | h [mm] | t [mm] | b [mm] | t [mm] | [cm$^2$] | [cm$^2$] | [kN] | [MPa] | [MPa] | - | |
| 9-10 | 2040 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 13,7 | 195,4 | 54,3 | 158,3 | 0,343 | OK |
| 8-9 | 2160 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 18,1 | 259,1 | 72 | 152,3 | 0,472 | OK |
| 7-8 | 1840 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 22,6 | 322,9 | 89,7 | 159,1 | 0,564 | OK |
| 6-7 | 2160 | 100 | 16 | 200 | 16 | 48 | 27,1 | 386,6 | 80,5 | 153,6 | 0,524 | OK |
| 5-6 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 31,9 | 455,3 | 56,9 | 151,9 | 0,375 | OK |
| 4-5 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 36,3 | 519,0 | 64,9 | 151,9 | 0,427 | OK |
| 3-4 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 41,2 | 589,3 | 73,7 | 151,9 | 0,485 | OK |
| 2-3 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 46,2 | 659,7 | 82,5 | 151,9 | 0,543 | OK |
| 1-2 | 2190 | 200 | 20 | 300 | 20 | 100 | 50,6 | 723,5 | 72,4 | 174,8 | 0,414 | OK |

**Dimenzije upore br. 4**

| | l | struk | | pojas | | $A_p$ | $A_{min}$ | F | $\sigma_a$ | $\sigma_{acr}$ | $\eta_a$ | $\eta_a \leq 0,6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | h [mm] | t [mm] | b [mm] | t [mm] | [cm$^2$] | [cm$^2$] | [kN] | [MPa] | [MPa] | - | |
| 9-10 | 2040 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 14,0 | 200,5 | 55,7 | 158,3 | 0,352 | OK |
| 8-9 | 2160 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 18,8 | 268,8 | 74,7 | 152,3 | 0,49 | OK |
| 7-8 | 1840 | 100 | 12 | 200 | 12 | 36 | 23,6 | 337,1 | 93,6 | 159,1 | 0,588 | OK |
| 6-7 | 2160 | 100 | 16 | 200 | 16 | 48 | 28,4 | 405,4 | 84,5 | 153,6 | 0,55 | OK |
| 5-6 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 33,5 | 478,9 | 59,9 | 151,9 | 0,394 | OK |
| 4-5 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 38,3 | 547,2 | 68,4 | 151,9 | 0,45 | OK |
| 3-4 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 43,6 | 622,5 | 77,8 | 151,9 | 0,512 | OK |
| 2-3 | 2190 | 200 | 16 | 300 | 16 | 80 | 48,9 | 698,0 | 87,3 | 151,9 | 0,574 | OK |
| 1-2 | 2190 | 200 | 20 | 300 | 20 | 100 | 53,6 | 766,3 | 76,6 | 174,8 | 0,438 | OK |




**Slika 34. Dimenzije upore 1, 3 i 4 te upore br. 2**

## *5.6 Vlastita masa broda*

Proračun vlastite mase broda kao i položaj težišta vlastite mase broda predstavlja jedan od nesigurnijih brodograđevnih proračuna. Naime, masa broda se u svim fazama projektiranja može samo procijeniti, a tek na pokusu nagiba se može utvrditi njezin stvarni iznos. Poznavanje mase lakog broda kao i položaja težišta svakako je neophodno jer temeljni proračuni stabiliteta, čvrstoće, nosivosti trebaju taj podatak.

Za proračun vlastite mase i težišta broda koristit će se podaci o masama gradnje 428. Ti, postojeći podaci, su izmijenjeni za masu palube 6, masu feedera za smještaj stočne hrane, masu novih tankova goriva, masu dvodna, mase glavnog stroja, mase generatora . U slijedećoj tablici dana je raščlana vlastite mase broda s iznosom mase pojedine grupe masa i položajem težišta, na kraju je dan proračun centracije kojim se definira vlastita masa i položaj težišta vlastite mase broda. Mase su raspoređene po glavnim grupama prema SFI raščlani.

**Tablica 32. Centracija**

| GRUPE | | MASE | $X_G$ | $Z_G$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 21 | KRMENI PIK | 450,000 | 4,800 | 9,800 |
| 22 | PROSTOR STROJARNICE | 716,000 | 27,207 | 8,937 |
| 23 | TERETNI PROSTOR | 6217,000 | 84,888 | 12,367 |
| 24 | PRAMČANI PIK | 330,000 | 165,050 | 12,000 |
| 25 | NADGRAĐE | 232,000 | 119,670 | 29,598 |
| 26 | OPREMA TRUPA | 40,000 | 30,100 | 11,625 |
| 27 | ZAŠTITA (paluba protiv sklizanja) | 440,000 | 80,000 | 16,100 |
| 2 | TRUP | 8425,000 | 79,291 | 12,590 |
| | | | | |
| 30 | GROTLA I VRATA | 31,000 | 61,221 | 23,548 |
| 31 | OPREMA ZA TERET U SKLADIŠTIMA | 623,000 | 74,926 | 15,426 |
| 37 | VENTILACIJA | 99,000 | 77,450 | 28,000 |
| 3 | OPREMA ZA TERET | 753,000 | 74,694 | 17,413 |
| | | | | |
| 40 | STROJEVI ZA KORMILARENJE | 95,000 | 24,482 | 7,547 |
| 41 | OPREMA ZA NAVIGACIJU I KOMUNIKACIJU | 8,000 | 152,500 | 30,500 |
| 43 | OPREMA ZA SIDRENJE I VEZ | 160,000 | 120,637 | 17,000 |
| 44 | OPREMA ZA POPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE | 18,000 | 33,500 | 10,000 |
| 45 | OPREMA ZA PODIZANJE U STROJARNICI | 12,000 | 28,400 | 13,600 |
| 4 | BRODSKA OPREMA | 293,000 | 81,200 | 13,734 |
| | | | | |
| 50 | OPRMA ZA SPAŠAVANJE | 20,000 | 127,000 | 28,200 |
| 51 | IZOLACIJA, VRATA | 80,000 | 149,950 | 28,000 |
| 52 | POKROV UNUTARNJIH PALUBA | 50,000 | 149,950 | 27,000 |
| 53 | POKROV VANJSKIH PALUBA | 5,000 | 86,800 | 27,000 |
| 54 | NAMJEŠTAJ, INVENTAR | 10,000 | 152,500 | 27,200 |
| 55 | KUHINJA, PEGLAONICA, SUŠIONICA | 20,000 | 145,700 | 24,600 |
| 56 | DIZALA I TRANSPORTNA OPREMA ZA POSADU | 4,000 | 118,500 | 15,000 |
| 57 | VENTILACIJA I KLIMA | 25,000 | 152,500 | 26,000 |
| 58 | SANITARNI SISTEMI | 15,000 | 150,800 | 24,000 |
| 5 | OPREMA ZA POSADU | 229,000 | 146,092 | 26,738 |
| | | | | |
| 60 | DIESELSKI STROJ | 171,000 | 27,550 | 5,200 |
| 63 | PRIJENOSNI SUSTAV | 50,000 | 9,000 | 3,400 |
| 64 | KOTAO | 25,000 | 29,250 | 16,000 |
| 65 | GLAVNA PROIZVODNJA EL. ENERGIJE | 200,000 | 19,050 | 6,500 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | OSNOVNI STROJEVI | 446,000 | 21,754 | 6,187 |
| | | | | |
| 70 | SUSTAV GORIVA | 30,000 | 38,600 | 8,000 |
| 71 | SUSTAV MAZIVOG ULJA | 22,000 | 25,000 | 8,000 |
| 72 | RASHLADNI SUSTAV | 50,000 | 31,800 | 6,400 |
| 73 | SUSTAV STLAČENOG ZRAKA | 14,000 | 29,250 | 9,000 |
| 74 | ISPUŠNI SUSTAV | 23,000 | 30,100 | 19,500 |
| 75 | SUSTAV PARE, KONDENZATA I NAPOJNE VODE | 80,000 | 11,400 | 9,500 |
| 79 | AUTOMATSKI SUSTAVI ZA STROJEVE | 6,000 | 13,950 | 9,000 |
| 7 | SISTEMI ZA OSNOVNE STROJEVE | 225,000 | 23,980 | 9,442 |
| | | | | |
| 80 | BALASTNI SUSTAV | 19,000 | 61,300 | 2,000 |
| 81 | PROTUPOŽARNI SUSTAV | 40,000 | 36,050 | 14,500 |
| 82 | SUSTAV ZRAKA I SONDIRANJA | 20,000 | 49,650 | 10,000 |
| 83 | HIDRAULIČKI SUSTAV | 10,000 | 46,250 | 10,000 |
| 88 | ZAJEDNIČKI ELEKTRIČNI SUSTAV | 40,000 | 20,750 | 10,000 |
| 89 | SUSTAV DISTRIBUCIJE EL. ENERGIJE | 70,000 | 76,600 | 17,000 |
| 8 | BRODSKI SISTEMI | 199,000 | 51,529 | 12,603 |
| | | | | |
| 90 | ZAVARI | 140,000 | 76,000 | 15,000 |
| 91 | TEKUĆINE | 40,000 | 29,250 | 3,000 |
| 92 | REZERVA | 1,000 | 70,000 | 15,000 |
| 9 | REZERVA, TEKUĆINE, ZAVARI | 181,000 | 65,635 | 12,348 |
| | | | | |
| | UKUPNA MASA | 10751,000 | $X_T$ = 76,155 | $Z_T$ = 12,925 |

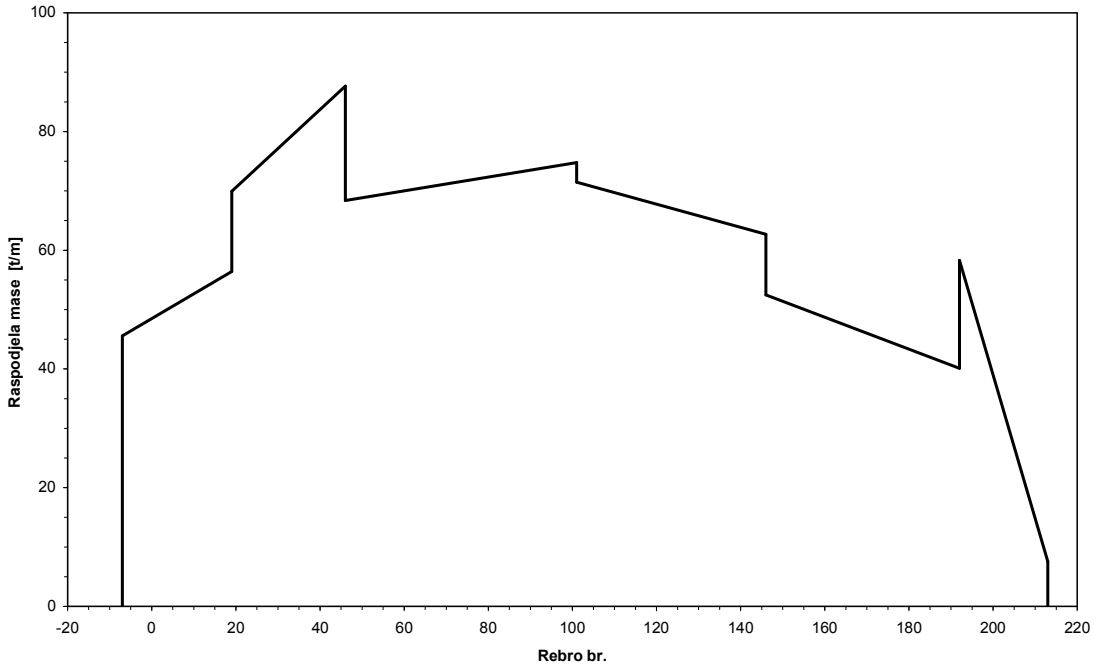
Vlastita masa broda: $W_{LS}$ = 10751,0 t
Uzdužni položaj težišta vlastite mase broda: $X_T$ = 76,155 m
Vertikalni položaj težišta vlastite mase broda: $Z_T$ = 12,925 m

## *5.7 Dijagram raspodjele mase broda*

Dijagram raspodjele mase broda dobiven je zbrajanjem pojedinih masa za pojedinu zonu broda (između poprečnih pregrada) i raspodjelom po metru duljine. Podaci o raspodjeli masa prikazani su u sljedećoj tablici, a sam dijagram izrađen je u 'Excel-u'.

**Tablica 33. Raspodjela mase**

| Krmeno rebro - FrA | Pramčano rebro - FrF | QA | QF |
|---|---|---|---|
| -7 | 19 | 45,58 | 56,42 |
| 19 | 46 | 69,95 | 87,66 |
| 46 | 101 | 68,38 | 74,78 |
| 101 | 146 | 71,48 | 62,68 |
| 146 | 192 | 52,47 | 40,1 |
| 192 | 213 | 58,3 | 7,56 |




**Slika 35. Dijagram raspodjele mase broda**

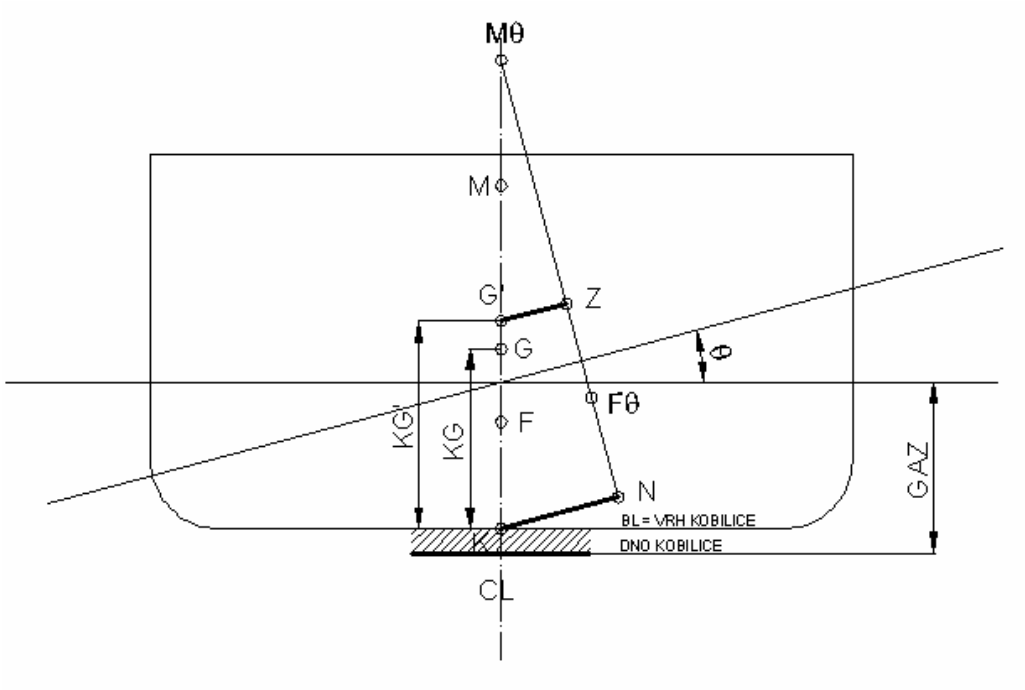
## *5.8 Stabilitet*

U ovom poglavlju obradit će se proračuni stabiliteta u oštećenom i neoštećenom stanju. To su osnovni proračuni u fazi projektiranja broda koji podliježu odobrenju registra prema kojem se brod gradi, a pri tom moraju bit zadovoljeni strogi kriteriji definirani od strane IMO-a (International Maritime Organisation) i SOLAS-a (International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974). Svi podaci izneseni u ovom poglavlju ulaze u 'Knjigu trima i stabiliteta' koja se mora čuvati na brodu i u skladu s kojom brod smije ploviti, a za provjerena stanja krcanja.

U prvom dijelu ovog poglavlja obradit će se stabilitet broda u oštećenom stanju. U tom dijelu je potrebno predvidjeti moguća oštećenja broda po zonama. Zone na brodu predstavljaju područja omeđena nepropusnim pregradama. Potrebno je vidjeti da li u slučajevima oštećenja brod zadovoljava kriterije definirane propisima [10] i da li zadovoljava zahtijevani indeks pregrađivanja. Postignuti indeks pregrađivanja, pri tom, mora biti veći od zahtijevanog. Osim toga potrebno je odrediti minimalne početne metacentarske visine za pojedine gazove s obzirom na zahtijevane kriterije. Minimalne početne metacentarske visine određuju se za kriterije stabiliteta u neoštećenom stanju i za kriterije stabiliteta u oštećenom stanju, pri tom početna metacentarska visina broda za pojedini gaz mora biti veća od najveće minimalne zahtijevane, bez obzira da li je to po kriterijima stabiliteta u neoštećenom ili oštećenom stanju.

U drugom dijelu poglavlja obradit će se stabilitet broda u neoštećenom stanju. Potrebno je definirati sva stanja krcanja kojima će predviđeni projekt ploviti i za ta stanja provesti proračun. Rezultati proračuna moraju zadovoljiti sve kriterije za stabilitet broda u neoštećenom stanju koji će kasnije biti navedeni. Rezultati proračuna će sadržavati podatke o istisnini, gazu, opterećenju (smične sile i momenti savijanja), polugama stabiliteta, itd. za svako pojedino stanje krcanja.

Slijedeća skica pokazuje oznake koje će se primjenjivati u ovom poglavlju za definiranje pojedinih veličina.




**Slika 36. Skica oznaka veličina za proračun stabiliteta**

M - poprečni metacentar
G - težište masa broda
F - težište istisnine

MG - metacentarska visina
GG' - korekcija zbog efekta slobodnih površina
MG' - metacentarska visina korigirana za efekt slobodnih površina
KG - vertikalna udaljenost težišta masa
KG' - vertikalna udaljenost težišta masa korigirana za efekt slobodnih površina
KN - ordinata S-krivulja
G'Z - poluga stabiliteta

### 5.8.1 Stabilitet broda u oštećenom stanju i pregrađivanje

Prema [10] brod u slučaju oštećenja mora posjedovati zadovoljavajući stabilitet. Proračun stabiliteta za brod u oštećenom stanju potrebno je provesti za tri gaza:

1. deepest subdivisiom draught ($d_s$) – najveći projektni gaz
2. light service draught ($d_l$) – minimalni gaz pri kojem brod ima dovoljni stabilitet ili zagažaj (laki brod + 10% balasta
3. partial subdivision draught ($d_p$) – djelomični gaz – prema [10]

Prilikom oštećenja (probijanja vanjske oplate) dolazi do prodora vode u trup broda. S obzirom da je brod podijeljen na vodonepropusne zone, u ovom slučaju poprečnim vodonepropusnim pregradama i palubom, prodor vode će, za pojedini tip oštećenja, biti ograničen. Nakon oštećenja i prodora vode, brod mora posjedovati zadovoljavajući stabilitet u skladu s kriterijima stabiliteta u oštećenom stanju. Kriteriji stabiliteta u oštećenom stanju definirani su SOLAS propisima, međutim propisi se mijenjanju pa brodovi koji će se početi graditi nakon 1. siječnja 2009, morat će zadovoljiti nove propise definirane prema [10]. Kriteriji stabiliteta u oštećenom stanju prema novim propisima glase:

1. granična linija, koju čine otvori iznad vodonepropusne palube (palube nadvođa), moraju biti iznad vodne linije;
2. maksimalni GZ (poluga stabiliteta) od 0,12 m u području od 0° do 50°;
3. pozitivni GZ u području od 16°;
4. kut nagiba ne smije biti veći od 25°.

Granična linija, ispod koje mora biti vodna linija u završnoj fazi naplavljivanja, definirana je točkama koje predstavljaju otvore iznad 6. palube, tj. iznad palube nadvođa. Koordinate točaka koje opisuju graničnu liniju prikazane su u sljedećoj tablici.

**Tablica 34. Točke granične linije naplavljivanja**

| Točka br. | Rebro br. | Y - koord. | Z - koord. |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 15,550 | 14,530 |
| 2 | 151 | 15,550 | 14,530 |
| 3 | 19 | 14,550 | 15,300 |
| 4 | 51 | 15,550 | 16,300 |
| 5 | 101 | 15,550 | 15,300 |
| 6 | 151 | 15,550 | 15,300 |
| 7 | 181 | 15,550 | 17,700 |
| 8 | 197 | 15,550 | 20,200 |
| 9 | 41 | 14,550 | 25,300 |

Sljedeći tankovi i prostori ulaze u proračun stabiliteta u oštećenom stanju. Numeracija odjeljaka odgovara numeraciji na nacrtu u Prilogu.

**Tablica 35. Odjeljci koji ulaze u proračun stabiliteta u oštećenom stanju**

| Broj odijeljka | Ime odijeljka | FRA | FRF | Volumen | Udaljenost težišta od | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | LPP/2 | osnovice | CL-a |
| | | No | No | $m^3$ | m | m | m |
| 1 | Fore Peak WB | 192 | 213 | 493,0 | 79,89 | 9,541 | 0,000 |
| 2 | Deep Tank WB/Dung Holding | 176 | 183 | 422,9 | 65,26 | 6,722 | -0,039 |
| 43 | Dung Transver Tank | 166 | 176 | 74,0 | 57,75 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | DB/Wing Tk No1 SB WB | 146 | 166 | 262,6 | 45,57 | 2,255 | 3,643 |
| 4 | DB/Wing Tk No1 PS WB | 146 | 166 | 262,6 | 45,57 | 2,255 | -3,634 |
| 5 | After Peak Cooling FW | 8 | 19 | 64,8 | -73,44 | 3,333 | 0,000 |
| 6 | Fresh W.Tk SB | -7 | 1 | 82,9 | -84,44 | 10,445 | 7,995 |
| 7 | Fresh W.Tk PS | -7 | 1 | 82,9 | -84,44 | 10,445 | -7,995 |
| 17 | Fresh W.Tk Fore | 186 | 190 | 16,7 | 71,67 | 13,203 | -6,176 |
| 8 | DB Tk No2 SB WB/FW | 101 | 145 | 290,2 | 13,12 | 1,342 | 7,914 |
| 9 | DB Tk No2 PS FW/WB | 101 | 145 | 290,2 | 13,12 | 1,342 | -7,914 |
| 10 | DB Tk No2 C FW/WB | 101 | 145 | 726,4 | 17,24 | 1,096 | 0,000 |
| 11 | DB Tk No3 SB FW/WB | 56 | 101 | 349,3 | -17,48 | 1,341 | 8,189 |
| 12 | DB Tk No3 PS FW/WB | 56 | 101 | 349,3 | -17,48 | 1,341 | -8,189 |
| 13 | DB Tk No3 C FW | 56 | 101 | 732,4 | -20,10 | 1,094 | 0,000 |
| 14 | Fresh W Coll Tk Aft | 31 | 36 | 30,4 | -58,58 | 8,008 | -7,851 |
| 16 | Fresh W Coll Tk Fore | | | 29,6 | 72,41 | 13,266 | 6,081 |
| 15 | Feed Water Tk | 26 | 29 | 11,8 | -63,79 | 8,294 | 7,009 |
| 18 | Bunker Tank SB HFO | 46 | 56 | 827,0 | -43,61 | 7,534 | 8,011 |
| 19 | Bunker Tank PS HFO | 46 | 56 | 842,9 | -43,66 | 7,553 | -5,947 |
| 20 | HFO Low Sulphur Tk | 46 | 56 | 141,8 | -43,68 | 1,037 | 0,000 |
| 21 | HFO Settling Tk No1 | 46 | 50 | 47,8 | -46,03 | 8,540 | -1,125 |
| 22 | HFO Daily Tk No1 | 46 | 50 | 31,9 | -46,03 | 8,540 | 0,750 |
| 23 | HFO Daily Tk LS | 46 | 50 | 31,9 | -46,03 | 8,540 | 2,250 |
| 24 | HFO Overflow Tk | 37 | 46 | 28,8 | -52,92 | 1,206 | -3,172 |
| 25 | FO/LO Drain Tk | 32 | 37 | 8,3 | -58,22 | 1,270 | -2,674 |
| 26 | HFO Daily Tk No2 | 7 | 15 | 20,1 | -75,58 | 11,003 | 9,580 |
| 27 | HFO Settling Tk No2 | 15 | 19 | 29,1 | -72,29 | 10,788 | 7,889 |
| 28 | DO Storage Tk SB | 7 | 19 | 91,2 | -74,93 | 10,826 | 7,891 |
| 29 | DO Service Tk AMSA | 3 | 7 | 29,9 | -79,80 | 10,405 | 7,989 |
| 31 | M.Eng.L.O.Storage Tk | 21 | 23 | 20,5 | -68,55 | 10,441 | -10,292 |
| 32 | M.E.Cyl.Oil St.Tk | 23 | 26 | 31,7 | -66,42 | 10,392 | -10,280 |
| 33 | A.Eng.L.Oil Drain Tk | | | 7,2 | -69,83 | 7,450 | 0,000 |
| 34 | A.Eng.L.Oil Stor.Tk | | | 7,4 | -69,83 | 10,390 | -6,750 |
| 35 | M.Eng.L.O.Circ.Tk | 32 | 43 | 16,1 | -55,38 | 1,096 | 0,000 |
| 36 | Renovating L.Oil Tk | 21 | 30 | 57,8 | -65,21 | 1,120 | 0,000 |
| 37 | Stern T.L.O.Drain Tk | 19 | 21 | 8,3 | -70,23 | 1,134 | 0,000 |
| 38 | Bilge Water Coll.Tk | 32 | 46 | 46,9 | -53,04 | 1,213 | 3,164 |
| 40 | Separators Sludge Tk | 31 | 36 | 13,0 | -59,20 | 8,338 | -6,822 |
| 41 | Drain/Sludge Tk | | | 12,1 | -74,38 | 8,246 | 0,000 |
| 42 | Holding Tank | 176 | 181 | 55,4 | 64,34 | 13,086 | -8,071 |
| 64 | Fooder silos SB | 146 | 176 | 2584,5 | 48,41 | 10,239 | 5,629 |
| 65 | Fooder silos PS | 146 | 176 | 2584,5 | 48,41 | 10,239 | -5,629 |
| 67 | After void | -5 | 19 | 1574,0 | -79,33 | 11,686 | -1,633 |
| 68 | Engine Room No2 | -7 | 19 | 927,9 | -78,63 | 11,300 | 0,000 |
| 69 | Fodder Machinery Space | 145 | 178 | 468,6 | 47,90 | 3,305 | 0,000 |
| 71 | Domestic Eq. Space | 176 | 192 | 1104,2 | 69,70 | 10,844 | 0,247 |
| 72 | Bosunus Store | 192 | 213 | 870,5 | 80,75 | 17,257 | 0,000 |

U sljedećoj tablici dan je popis svih pretpostavljenih slučaja oštećenja po zonama sa popisom odjeljaka za koje se pretpostavlja da će biti naplavljeni u pojedinom slučaju. Prvi broj u numeraciji pojedinih slučajeva označava zonu oštećenja, drugi broj govori da li se oštećenje preko proteže preko jedne (1) zone ili preko dvije (2) zone. Treći broj u numeraciji, u koliko postoji govori da se u tom slučaju pretpostavlja manje oštećenje. Naime, može se dogoditi da slučaj u kojem se ne oštećuju svi odjeljci u pojedinoj zoni, daje lošije rezultate nego u slučaju da se naplave svi odjeljci. To se događa kada se naplave npr. samo gornji odjeljci u pojedinoj zoni pri čemu dolazi do porasta težišta sustava po visini što može značajno narušiti stabilitet broda. Prije same tablice sa slučajevima oštećenja dana je tablica naplavljivosti pojedinih odjeljaka prema [10].

**Tablica 36. Naplavljivost**

| Prostor | Naplavljivost |
|---|---|
| Zalihe | 0,6 |
| Nastambe | 0,95 |
| Strojarnica | 0,85 |
| Suhi prostor | 0,95 |
| Prostor za tekućine | 0 ili 0,95* |
| *Prema tome koji je zahtjev stroži | |

**Tablica 37. Naplavljivost teretnih prostora**

| Prostor | Naplavljivost na gazu $d_s$ | Naplavljivost na gazu $d_p$ | Naplavljivost na gazu $d_l$ |
|---|---|---|---|
| Skladišta za suhi teret | 0,7 | 0,8 | 0,95 |
| Prostori za kontejnere | 0,7 | 0,8 | 0,95 |
| Ro-ro prostori | 0,9 | 0,9 | 0,95 |
| Tekući tereti | 0,7 | 0,8 | 0,95 |

**Tablica 38. Slučajevi oštećenja**

| **DAMAGE CASE NO** | | **11.00** |
|---|---|---|
| HEELING DIRECTION SB | | |
| | | |
| **Broj odijeljka** | **Naplavljivost** | **Ime odijeljka** |
| 57 | 0,950 | After Void |
| 63 | 0,900 | Hold No |
| 60 | 0,850 | Engine Room |
| 6 | 0,950 | Fresh W.Tk SB |
| 28 | 0,950 | DO Storage Tk SB |
| 29 | 0,950 | DO Service Tk AMSA |
| 68 | 0,850 | Engine Room NO 2 |
| | | |
| **DAMAGE CASE NO** | | **12.00** |
| HEELING DIRECTION SB | | |
| | | |
| **Broj odijeljka** | **Naplavljivost** | **Ime odijeljka** |
| 67 | 0,950 | After Void |
| 63 | 0,900 | Hold No |
| 60 | 0,850 | Engine Room |
| 6 | 0,950 | Fresh W.Tk SB |
| 28 | 0,950 | DO Storage Tk SB |

| | | |
|---|---|---|
| 29 | 0,950 | DO Service Tk AMSA |
| 68 | 0,850 | Engine Room NO 2 |
| 36 | 0,950 | Renovating L.Oil Tk |
| 38 | 0,950 | Bilge Water Coll.Tk |
| 35 | 0,950 | M.Eng.L.O.Circ.Tk |
| 20 | 0,950 | HFO Low Sulphur Tk |
| 18 | 0,950 | Bunker Tank SB HFO |
| 22 | 0,950 | HFO Daily Tk No1 |
| 23 | 0,950 | HFO Daily Tk LS |
| 40 | 0,950 | Separators Sludge Tk |
| 15 | 0,950 | Feed Water Tk |

| **DAMAGE CASE NO** | **21.00** |
|---|---|
| HEELING DIRECTION SB | |

| **Broj odijeljka** | **Naplavljivost** | **Ime odijeljka** |
|---|---|---|
| 60 | 0,850 | Engine Room |
| 63 | 0,900 | Hold No |
| 36 | 0,950 | Renovating L.Oil Tk |
| 38 | 0,950 | Bilge Water Coll.Tk |
| 35 | 0,950 | M.Eng.L.O.Circ.Tk |
| 20 | 0,950 | HFO Low Sulphur Tk |
| 18 | 0,950 | Bunker Tank SB HFO |
| 22 | 0,950 | HFO Daily Tk No1 |
| 23 | 0,950 | HFO Daily Tk LS |
| 40 | 0,950 | Separators Sludge Tk |
| 15 | 0,950 | Feed Water Tk |

| **DAMAGE CASE NO** | **211.00** |
|---|---|
| HEELING DIRECTION SB | |

| **Broj odijeljka** | **Naplavljivost** | **Ime odijeljka** |
|---|---|---|
| 60 | 0,850 | Engine Room |
| 63 | 0,900 | Hold No |
| 18 | 0,950 | Bunker Tank SB HFO |
| 22 | 0,950 | HFO Daily Tk No1 |
| 23 | 0,950 | HFO Daily Tk LS |
| 40 | 0,950 | Separators Sludge Tk |
| 15 | 0,950 | Feed Water Tk |

| **DAMAGE CASE NO** | **31.00** |
|---|---|
| HEELING DIRECTION SB | |

| **Broj odijeljka** | **Naplavljivost** | **Ime odijeljka** |
|---|---|---|
| 61 | 0,900 | Hold No3 |
| 11 | 0,950 | DB Tk No3 SB FW/WB |
| 13 | 0,950 | DB Tk No3 C FW |
| 20 | 0,950 | HFO Low Sulphur Tk |
| 18 | 0,950 | Bunker Tank SB HFO |

| **DAMAGE CASE NO** | **311.00** |
|---|---|

HEELING DIRECTION SB

| Broj odijeljka | Naplavljivost | Ime odijeljka |
|---|---|---|
| 61 | 0,900 | Hold No3 |
| 18 | 0,950 | Bunker Tank SB HFO |

| DAMAGE CASE NO | 41.00 |
|---|---|

HEELING DIRECTION SB

| Broj odijeljka | Naplavljivost | Ime odijeljka |
|---|---|---|
| 62 | 0,900 | Hold No2 |
| 8 | 0,950 | DB Tk No2 SB WB/FW |
| 10 | 0,950 | DB Tk No2 C FW/WB |

| DAMAGE CASE NO | 411.00 |
|---|---|

HEELING DIRECTION SB

| Broj odijeljka | Naplavljivost | Ime odijeljka |
|---|---|---|
| 62 | 0,900 | Hold No2 |

| DAMAGE CASE NO | 51.00 |
|---|---|

HEELING DIRECTION SB

| Broj odijeljka | Naplavljivost | Ime odijeljka |
|---|---|---|
| 64 | 0,950 | Fooder silos SB |
| 65 | 0,950 | Fooder silos PS |
| 3 | 0,950 | DB/Wing Tk No1 SB WB |
| 43 | 0,950 | Dung Transver Tank |
| 69 | 0,850 | Fodder Machinery Space |
| 16 | 0,950 | Fresh W Coll Tk Fore |

| DAMAGE CASE NO | 511.00 |
|---|---|

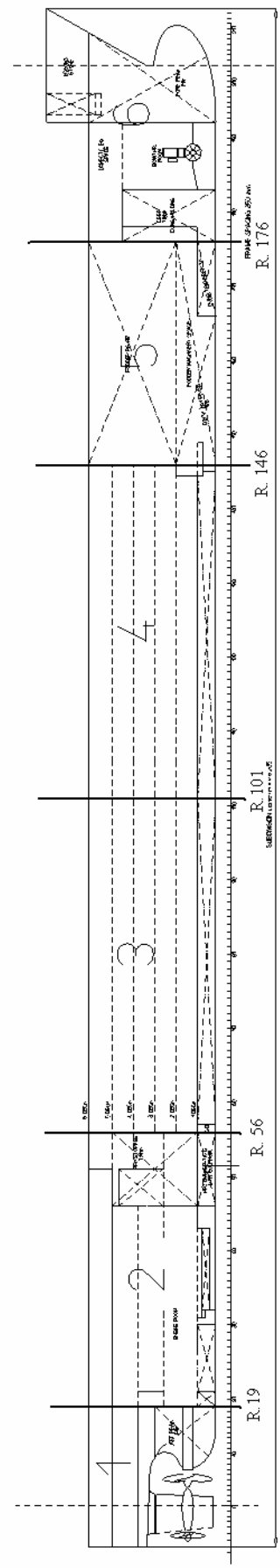
HEELING DIRECTION SB

| Broj odijeljka | Naplavljivost | Ime odijeljka |
|---|---|---|
| 64 | 0,950 | Fooder silos SB |
| 65 | 0,950 | Fooder silos PS |
| 3 | 0,950 | DB/Wing Tk No1 SB WB |
| 16 | 0,950 | Fresh W Coll Tk Fore |

| DAMAGE CASE NO | 61.00 |
|---|---|

HEELING DIRECTION SB

| Broj odijeljka | Naplavljivost | Ime odijeljka |
|---|---|---|
| 72 | 0,600 | Bosunus Store |
| 71 | 0,950 | Domestic Eq. Space |
| 1 | 0,950 | Fore Peak WB |
| 2 | 0,950 | Deep Tank WB/Dung Holding |




**Slika 37. Podjela broda na zone**

U sljedećim tablicama dani su rezultati proračuna stabiliteta u oštećenom stanju prema prije definiranim kriterijima, a za tri gaza (maksimalni gaz, parcijalni gaz i laki gaz) odnosno za pojedine slučajeve oštećenja. Za svaki gaz dana je najprije tablica sa minimalnim zahtievanim metacentarskim visinama za svaki pojedini kriterij stabiliteta u oštećenom stanju, a zatim tablica s rezultatima proračuna.

## Stabilitet u oštećenom stanju za gaz $d_s$ = 8,461 m

**Tablica 39. Minimalne metacentarske visine za gaz $d_s$**

| Gaz $d_s$ = 8,461 m | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Slučaj oštećenja** | **Nagib*** | **Kritično stanje** | **Min GM** | **Max KG** | **GM1** | **GM2** | **GM3** | **GM4** |
| 11.00 | SB | 4/4 | 0,877 | 13,504 | 0,000 | 0,877 | 0,560 | 0,000 |
| 12.00 | SB | 4/4 | 1,786 | 12,595 | 1,430 | 1,726 | 1,786 | 1,361 |
| 21.00 | SB | 4/4 | 0,239 | 14,142 | 0,000 | 0,239 | 0,143 | 0,000 |
| 211.00 | SB | 4/4 | 0,299 | 14,082 | 0,000 | 0,299 | 0,184 | 0,000 |
| 31.00 | SB | 2/4 | 0,397 | 13,984 | 0,046 | 0,338 | 0,397 | 0,041 |
| 311.00 | SB | 2/4 | 0,450 | 13,932 | 0,123 | 0,421 | 0,450 | 0,117 |
| 41.00 | SB | 2/4 | 0,267 | 14,114 | 0,108 | 0,201 | 0,267 | 0,000 |
| 411.00 | SB | 3/4 | 0,370 | 14,011 | 0,133 | 0,370 | 0,318 | 0,045 |
| 51.00 | SB | 4/4 | -0,333 | 14,714 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 511.00 | SB | 4/4 | -0,170 | 14,551 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 61.00 | SB | 0/4 | -0,696 | 15,077 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| *SB = starboard heeling; P = portside heeling; S = symetrical | | | | | | | | |

**Tablica 40. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_s$**

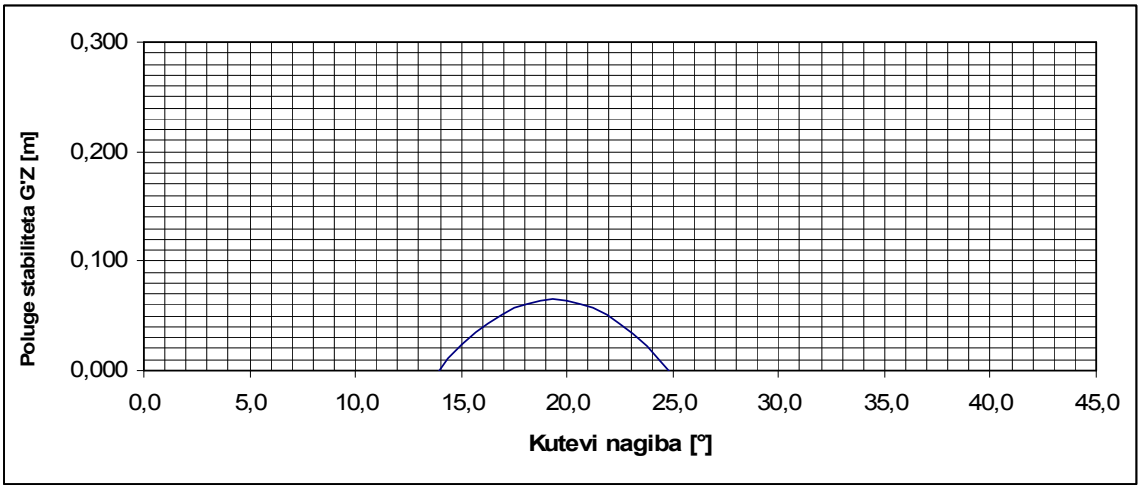
| Gaz $d_s$ = 8,461 m | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Slučaj oštećenja** | **Nagib** | **Kut nagiba** | **Uron palube*** | **Uron otvora**** | **Max GZ** | **Raspon u stupnjevima** | **Min GM** | **Max KG** | **s – konačni***** | **Gaz - krma** | **Gaz - pramac** |
| 11.00 | SB | 0,00 | 3,58 | 6,28 | 0,359 | 34,46 | 0,877 | 13,504 | 1,000 | 10,948 | 6,971 |
| 12.00 | SB | 13,93 | -3,21 | 0,56 | 0,065 | 10,88 | 1,786 | 12,595 | 0,779 | 13,571 | 4,851 |
| 21.00 | SB | 3,39 | 2,99 | 5,34 | 0,631 | 36,61 | 0,239 | 14,142 | 1,000 | 10,591 | 7,379 |
| 211.00 | SB | 3,39 | 3,20 | 5,41 | 0,612 | 36,61 | 0,299 | 14,082 | 1,000 | 10,385 | 7,469 |
| 31.00 | SB | 4,76 | 1,17 | 2,18 | 0,535 | 31,43 | 0,397 | 13,984 | 1,000 | 12,021 | 9,693 |
| 311.00 | SB | 3,52 | 1,99 | 2,96 | 0,500 | 31,44 | 0,450 | 13,932 | 1,000 | 11,562 | 9,523 |
| 41.00 | SB | 2,17 | 1,54 | 2,31 | 0,877 | 37,83 | 0,267 | 14,114 | 1,000 | 8,454 | 13,710 |
| 411.00 | SB | 0,00 | 2,59 | 3,36 | 0,753 | 40,00 | 0,370 | 14,011 | 1,000 | 8,430 | 13,114 |
| 51.00 | SB | 1,67 | 3,29 | 4,06 | 1,065 | 38,33 | 0,000 | 14,381 | 1,000 | 6,784 | 12,120 |
| 511.00 | SB | 1,94 | 3,69 | 4,46 | 0,989 | 38,06 | 0,000 | 14,381 | 1,000 | 7,145 | 11,370 |
| 61.00 | SB | 0,00 | 5,33 | 6,10 | 1,314 | 40,00 | 0,000 | 14,381 | 1,000 | 7,791 | 9,669 |
| * razlika između vodne linije i visine palube za pojedini slučaj; negativan predznak znači da je paluba uronjena | | | | | | | | | | | |
| ** razlika između vodne linije i visine otovra za pojedini slučaj; negativan predznak znači da je otovor uronjen | | | | | | | | | | | |
| *** prema [10], odnosi se na vjerojatnost prebrođenja nakon naplavljivanja odjeljka ili grupe odjeljaka koji se promatraju, uključuje efekt bilo kakvog horizontalng pregrađivanja | | | | | | | | | | | |

Kao najgori slučaj oštećenja za maksimalni gaz pokazao slučaj oštećenja 12.00. U tom slučaju nisu zadovoljeni 2. i 3. kriterij (6. i 7. stupac u gornjoj tablici). To rezultira smanjenom vjerojatnošću prebrođivanja nakon oštećenja (s) koji će na kraju ući u proračun postignutog faktora pregrađivanja. U koliko taj faktor bude veći od zahtijevanog, uvjeti koje traže propisi će ipak biti zadovoljeni.

Za ovaj slučaj promatrat će se krivulja poluga stabiliteta kako bi se vidjelo da li su zadovoljeni kriteriji stabiliteta u oštećenom stanju.

**Tablica 41. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_s$**

| Poluge stabiliteta u oštećenom stanju [m], gaz $d_s$ = 8,461 m, početni GM = 1,562 m | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kut nagiba [°] | 0,1 | 3,0 | 6,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 | 25,0 | 30,0 | 40,0 |
| Početno stanje | 0,003 | 0,084 | 0,182 | 0,335 | 0,561 | 0,814 | 1,070 | 1,221 | 1,002 |
| Stanje naplavljivanje br.1 | -0,012 | 0,090 | 0,204 | 0,372 | 0,604 | 0,862 | 1,113 | 1,226 | 0,937 |
| Stanje naplavljivanje br.2 | -0,035 | 0,095 | 0,235 | 0,418 | 0,658 | 0,909 | 1,122 | 1,197 | 0,876 |
| Stanje naplavljivanje br.3 | -0,071 | 0,090 | 0,243 | 0,432 | 0,646 | 0,878 | 1,077 | 1,116 | 0,789 |
| Konačno stanje naplavljivanja | -0,147 | -0,148 | -0,195 | -0,115 | 0,024 | 0,064 | -0,005 | -0,180 | -0,716 |




**Slika 38. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 12.00 na gazu $d_s$ = 8,461 m**

## Stabilitet u oštećenom stanju za gaz $d_p$ = 7,089 m

**Tablica 42. Minimalne metacentarske visine za gaz $d_p$**

| Gaz $d_p$ = 7,089 m | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Slučaj oštećenja | Nagib* | Kritično stanje | Min GM | Max KG | GM1 | GM2 | GM3 | GM4 |
| 11.00 | SB | 4/4 | -0,135 | 14,448 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 12.00 | SB | 4/4 | 0,355 | 13,958 | 0,069 | 0,355 | 0,222 | 0,068 |
| 21.00 | SB | 4/4 | -0,545 | 14,857 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 211.00 | SB | 4/4 | -0,406 | 14,719 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 31.00 | SB | 3/4 | 0,181 | 14,132 | 0,000 | 0,087 | 0,181 | 0,000 |
| 311.00 | SB | 3/4 | 0,461 | 13,852 | 0,111 | 0,443 | 0,461 | 0,142 |
| 41.00 | SB | 3/4 | 0,145 | 14,167 | 0,145 | 0,000 | 0,115 | 0,000 |
| 411.00 | SB | 3/4 | 0,349 | 13,963 | 0,285 | 0,194 | 0,349 | 0,185 |
| 51.00 | SB | 4/4 | -0,669 | 14,981 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 511.00 | SB | 4/4 | -0,426 | 14,739 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 61.00 | SB | 0/4 | -0,908 | 15,221 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| *SB = starboard heeling; P = portside heeling; S = symetrical | | | | | | | | |

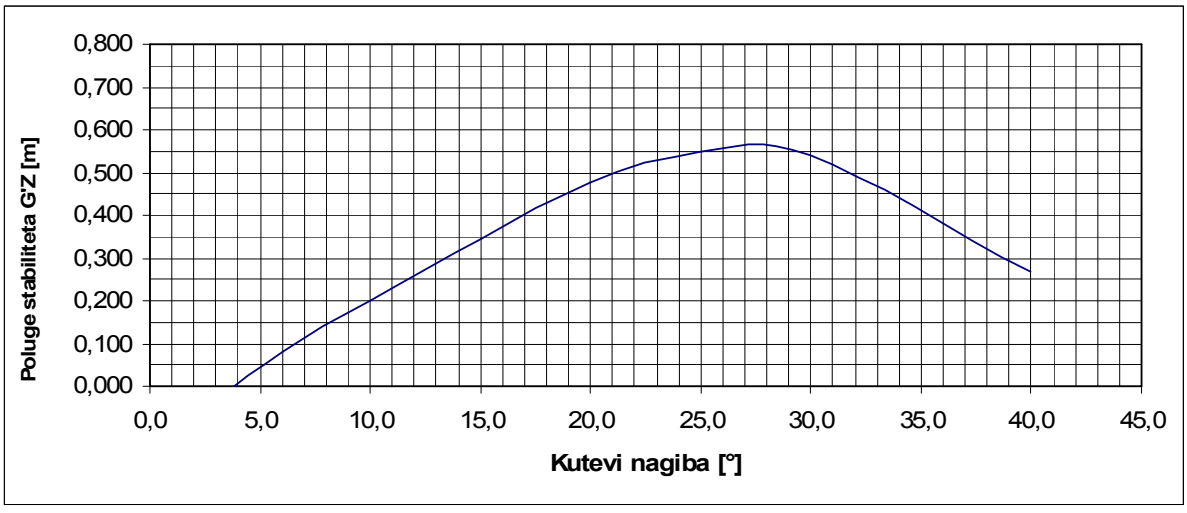
**Tablica 43. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_p$**

| Gaz $d_s$ = 7,089 m | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Slučaj oštećenja | Nagib | Kut nagiba | Uron palube* | Uron otvora** | Max GZ | Raspon u stupnjevima | Min GM | Max KG | s – konačni*** | Gaz - krma | Gaz - pramac |
| 11.00 | SB | 0,27 | 5,43 | 7,74 | 0,850 | 39,73 | 0,000 | 14,313 | 1,000 | 9,031 | 5,898 |
| 12.00 | SB | 4,01 | 3,29 | 6,19 | 0,627 | 35,99 | 0,355 | 13,958 | 1,000 | 10,121 | 5,281 |
| 21.00 | SB | 3,19 | 4,28 | 6,79 | 1,092 | 36,81 | 0,000 | 14,313 | 1,000 | 9,366 | 5,811 |
| 211.00 | SB | 3,29 | 4,50 | 6,84 | 1,039 | 36,71 | 0,000 | 14,313 | 1,000 | 9,114 | 5,930 |
| 31.00 | SB | 5,32 | 2,21 | 3,28 | 0,758 | 34,68 | 0,181 | 14,132 | 1,000 | 10,812 | 7,823 |
| 311.00 | SB | 3,84 | 3,12 | 4,14 | 0,555 | 36,16 | 0,461 | 13,852 | 1,000 | 10,339 | 7,618 |
| 41.00 | SB | 5,90 | 2,20 | 2,97 | 1,053 | 34,10 | 0,145 | 14,167 | 1,000 | 6,888 | 11,924 |
| 411.00 | SB | 0,00 | 4,34 | 5,11 | 0,812 | 40,00 | 0,349 | 13,963 | 1,000 | 6,939 | 11,278 |
| 51.00 | SB | 1,92 | 4,89 | 5,66 | 1,393 | 38,08 | 0,000 | 14,313 | 1,000 | 5,372 | 10,370 |
| 511.00 | SB | 2,26 | 5,35 | 6,12 | 1,262 | 37,74 | 0,000 | 14,313 | 1,000 | 5,850 | 9,462 |
| 61.00 | SB | 0,00 | 6,77 | 7,54 | 1,581 | 40,00 | 0,000 | 14,313 | 1,000 | 6,380 | 8,218 |
| * razlika između vodne linije i visine palube za pojedini slučaj; negativan predznak znači da je paluba uronjena | | | | | | | | | | | |
| ** razlika između vodne linije i visine otovra za pojedini slučaj; negativan predznak znači da je otovor uronjen | | | | | | | | | | | |
| *** prema [10], odnosi se na vjerojatnost prebrođenja nakon naplavljivanja odjeljka ili grupe odjeljaka koji se promatraju, uključuje efekt bilo kakvog horizontalng pregrađivanja | | | | | | | | | | | |

Kao najgori slučaj oštećenja za djelomični gaz pokazao slučaj oštećenja 311.00

**Tablica 44. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_p$**

| Poluge stabiliteta u oštećenom stanju [m], gaz $d_p$ = 7,089 m, početni GM = 1,494 m | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kut nagiba [°] | 0,003 | 0,079 | 0,165 | 0,295 | 0,517 | 0,791 | 1,076 | 1,335 | 1,401 |
| Početno stanje | -0,015 | -0,059 | -0,082 | -0,001 | 0,218 | 0,500 | 0,817 | 1,106 | 1,155 |
| Stanje naplavljivanje br.1 | -0,037 | -0,052 | -0,051 | -0,014 | 0,114 | 0,348 | 0,646 | 0,889 | 0,822 |
| Stanje naplavljivanje br.2 | -0,073 | -0,025 | 0,027 | 0,104 | 0,206 | 0,359 | 0,571 | 0,667 | 0,454 |
| Stanje naplavljivanje br.3 | -0,163 | -0,034 | 0,080 | 0,202 | 0,345 | 0,476 | 0,548 | 0,542 | 0,270 |
| Konačno stanje naplavljivanja | 0,003 | 0,079 | 0,165 | 0,295 | 0,517 | 0,791 | 1,076 | 1,335 | 1,401 |




**Slika 39. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 311.00 na gazu $d_p$ =7,089m**

## Stabilitet u oštećenom stanju za gaz $d_l$ = 5,031 m

**Tablica 45. Minimalne metacentarske visine za gaz $d_l$**

| Gaz $d_l$ = 5,031 m | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Slučaj oštećenja** | **Nagib*** | **Kritično stanje** | **Min GM** | **Max KG** | **GM1** | **GM2** | **GM3** | **GM4** |
| 11.00 | SB | 0/4 | 0,495 | 15,458 | 0,012 | 0,495 | 0,119 | 0,012 |
| 12.00 | SB | 0/4 | 0,495 | 15,458 | 0,072 | 0,495 | 0,141 | 0,072 |
| 21.00 | SB | 0/4 | 0,495 | 15,458 | 0,085 | 0,495 | 0,119 | 0,085 |
| 211.00 | SB | 0/4 | 0,495 | 15,458 | 0,111 | 0,495 | 0,258 | 0,111 |
| 31.00 | SB | 3/4 | 1,525 | 14,428 | 0,930 | 0,992 | 1,525 | 1,392 |
| 311.00 | SB | 4/4 | 2,345 | 13,608 | 1,680 | 1,841 | 2,345 | 2,256 |
| 41.00 | SB | 4/4 | 2,003 | 13,950 | 1,618 | 1,045 | 2,003 | 1,886 |
| 411.00 | SB | 4/4 | 2,681 | 13,272 | 2,143 | 1,812 | 2,681 | 2,587 |
| 51.00 | SB | 4/4 | 0,517 | 15,436 | 0,245 | 0,517 | 0,313 | 0,245 |
| 511.00 | SB | 4/4 | 0,792 | 15,160 | 0,520 | 0,792 | 0,577 | 0,520 |
| 61.00 | SB | 0/4 | 0,495 | 15,458 | 0,001 | 0,495 | 0,119 | 0,001 |
| *SB = starboard heeling; P = portside heeling; S = symetrical | | | | | | | | |

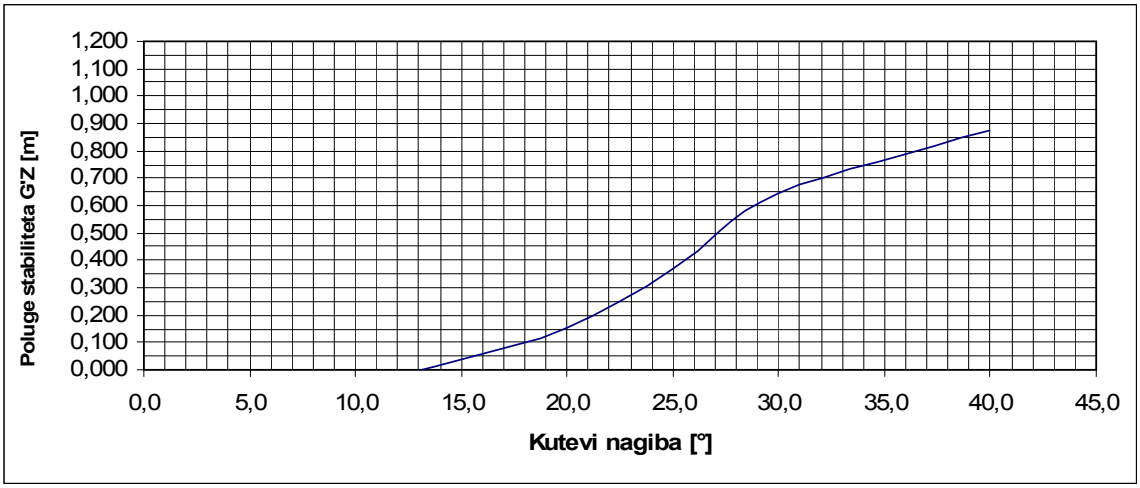
**Tablica 46. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_l$**

| Gaz $d_l$ = 5,031 m | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Slučaj oštećenja** | **Nagib** | **Kut nagiba** | **Uron palube*** | **Uron otvora**** | **Max GZ** | **Raspon u stupnjevima** | **Min GM** | **Max KG** | **s – konačni***** | **Gaz - krma** | **Gaz - pramac** |
| 11.00 | SB | 0,00 | 8,21 | 10,01 | 1,380 | 40,00 | 0,495 | 15,458 | 1,000 | 6,324 | 4,229 |
| 12.00 | SB | 1,92 | 6,65 | 9,25 | 1,415 | 38,08 | 0,495 | 15,458 | 1,000 | 7,348 | 3,630 |
| 21.00 | SB | 1,88 | 6,85 | 9,29 | 1,652 | 38,12 | 0,495 | 15,458 | 1,000 | 7,162 | 3,756 |
| 211.00 | SB | 1,63 | 7,43 | 9,48 | 1,504 | 38,37 | 0,495 | 15,458 | 1,000 | 6,651 | 4,056 |
| 31.00 | SB | 8,84 | 2,91 | 4,12 | 1,402 | 31,16 | 1,525 | 14,428 | 1,000 | 9,061 | 4,875 |
| 311.00 | SB | 13,06 | 2,73 | 3,94 | 0,898 | 26,94 | 2,345 | 13,608 | 1,000 | 7,910 | 4,674 |
| 41.00 | SB | 13,08 | 2,90 | 3,66 | 1,454 | 26,92 | 2,003 | 13,950 | 1,000 | 4,439 | 8,844 |
| 411.00 | SB | 17,85 | 2,35 | 3,09 | 0,969 | 22,15 | 2,681 | 13,272 | 1,000 | 4,169 | 7,575 |
| 51.00 | SB | 1,42 | 7,87 | 8,64 | 1,751 | 38,58 | 0,517 | 15,436 | 1,000 | 3,910 | 7,063 |
| 511.00 | SB | 1,58 | 8,51 | 9,28 | 1,594 | 38,42 | 0,792 | 15,160 | 1,000 | 4,532 | 5,947 |
| 61.00 | SB | 0,00 | 9,02 | 9,79 | 1,869 | 40,00 | 0,495 | 15,458 | 1,000 | 4,485 | 5,852 |
| * razlika između vodne linije i visine palube za pojedini slučaj; negativan predznak znači da je paluba uronjena | | | | | | | | | | | |
| ** razlika između vodne linije i visine otovra za pojedini slučaj; negativan predznak znači da je otovor uronjen | | | | | | | | | | | |
| *** prema [10], odnosi se na vjerojatnost prebrođenja nakon naplavljivanja odjeljka ili grupe odjeljaka koji se promatraju, uključuje efekt bilo kakvog horizontalng pregrađivanja | | | | | | | | | | | |

Kao najgori slučaj oštećenja za laki gaz pokazao slučaj oštećenja 311.00

**Tablica 47. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za gaz $d_l$**

| Poluge stabiliteta u oštećenom stanju [m], gaz $d_l$ = 5,031 m, početni GM = 3,134 m | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kut nagiba [°] | 0,005 | 0,164 | 0,325 | 0,535 | 0,782 | 1,020 | 1,235 | 1,439 | 1,766 |
| Početno stanje | -0,013 | -0,059 | -0,011 | 0,131 | 0,376 | 0,664 | 0,953 | 1,212 | 1,645 |
| Stanje naplavljivanje br.1 | -0,032 | -0,086 | -0,130 | -0,120 | 0,067 | 0,374 | 0,709 | 1,012 | 1,459 |
| Stanje naplavljivanje br.2 | -0,062 | -0,111 | -0,156 | -0,191 | -0,083 | 0,191 | 0,510 | 0,821 | 1,213 |
| Stanje naplavljivanje br.3 | -0,160 | -0,155 | -0,128 | -0,058 | 0,037 | 0,156 | 0,371 | 0,645 | 0,873 |
| Konačno stanje naplavljivanja | 0,005 | 0,164 | 0,325 | 0,535 | 0,782 | 1,020 | 1,235 | 1,439 | 1,766 |



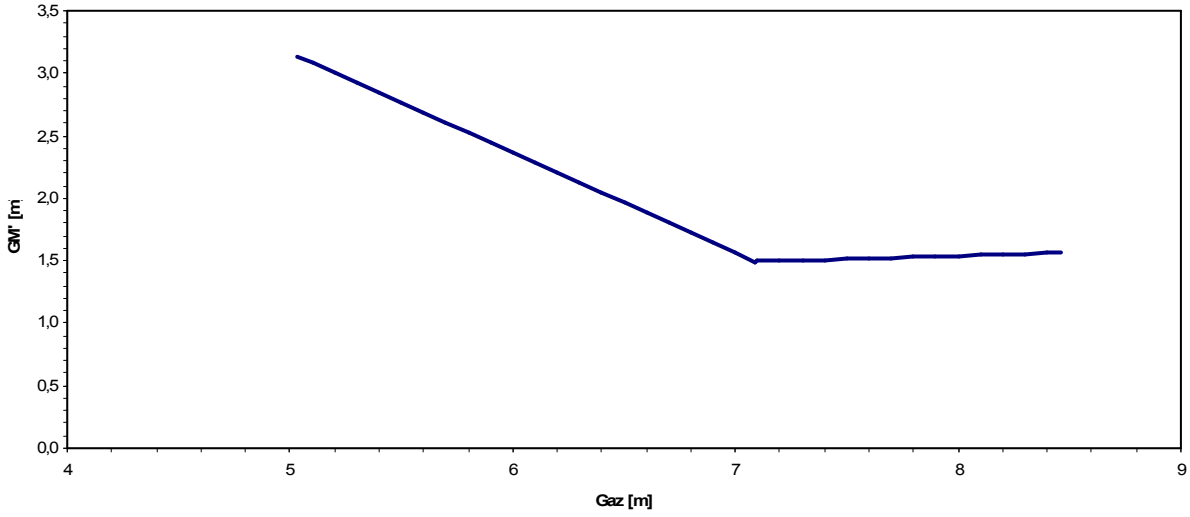

**Slika 40. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 311.00 na gazu $d_l$ =5,031m**

Na kraju prije samog proračuna postignutog indeksa pregrađivanja, potrebno je dati tablicu i dijagram minimalnih početnih metacentarskih visina za kriterije stabiliteta u oštećenom stanju. Podaci će se dobiti tako da se uzmu minimalne početne metacentarske visine za najgori slučaj za gazove $d_s$, $d_p$ i $d_l$ i da se napravi linearna interpolacija između tih vrijednosti za ostale gazove.

**Tablica 48. Minimalne početne metacentarske visine prema kriterijima stabiliteta u oštećenom stanju s korekcijom utjecaja slobodnih površina**

| Gaz | Minimalni GM' | |
|---|---|---|
| [m] | [m] | |
| 8,461 | 1,562 | GAZ PRI PUNOM OPTEREĆENJU |
| 8,4 | 1,559 | |
| 8,3 | 1,554 | |
| 8,2 | 1,549 | |
| 8,1 | 1,544 | |
| 8 | 1,539 | |
| 7,9 | 1,534 | |
| 7,8 | 1,529 | |
| 7,7 | 1,524 | |
| 7,6 | 1,519 | |
| 7,5 | 1,514 | |
| 7,4 | 1,509 | |
| 7,3 | 1,504 | |
| 7,2 | 1,500 | |
| 7,1 | 1,495 | |
| 7,089 | 1,494 | PARCIJALNI GAZ |
| 7 | 1,565 | |
| 6,9 | 1,645 | |
| 6,8 | 1,724 | |
| 6,7 | 1,804 | |
| 6,6 | 1,884 | |
| 6,5 | 1,963 | |

| | | |
|---|---|---|
| 6,4 | 2,043 | |
| 6,3 | 2,123 | |
| 6,2 | 2,202 | |
| 6,1 | 2,282 | |
| 6 | 2,362 | |
| 5,9 | 2,442 | |
| 5,8 | 2,521 | |
| 5,7 | 2,601 | |
| 5,6 | 2,681 | |
| 5,5 | 2,760 | |
| 5,4 | 2,840 | |
| 5,3 | 2,920 | |
| 5,2 | 2,999 | |
| 5,1 | 3,079 | |
| 5,031 | 3,134 | LAKI GAZ |




**Slika 41. Krivulja minimalnih početnih metacentarskih visina**

## Pregrađivanje

Prema [10], Regulation 6:

1. Pregrađivanje broda smatra se dovoljnim ako postignuti indeks pregrađivanja A, definiran prema pravilu 7 (Regulation 7), nije manji od zahtijevanog indeksa pregrađivanja R, koji je računat u skladu s pravilom 6 (Regulation 6), i ako parcijalni indeksi pregrađivanja nisu manji od 0,5R.
2. Za sve brodove na koje se odnose zahtjevi stabiliteta u oštećenom stanju ovog poglavlja, zahtijevani stupanj pregrađivanja mora biti određen zahtijevanim indeksom pregrađivanja R. Za teretne brodove veće od 100 m duljine $L_S$ (duljina pregrađivanja):

$$R = 1 - \frac{128}{L_S + 152}$$

Prema [10], Regulation 7:

1. Postignuti indeks pregrađivanja dobiva se zbrajanjem parcijalnih indeksa $A_s$, $A_p$ i $A_l$ koji su računati za gazove $d_s$, $d_p$ i $d_l$ prema slijedećem izrazu:

$$A = \sum p_i s_i$$

pri čemu su:

i - predstavlja svaki odjeljak ili grupu odjeljaka koji se razmatraju
pi - predstavlja vjerojatnost da će se naplaviti sam jedan odjeljak ili grupa odjeljaka koji se promatraju, zanemarujući utjecaj bilo kakvog horizontalnog pregrađivanja
si - predstavlja vjerojatnst prebrođenja nakon naplavljivanja odjeljka ili grupe odjeljaka koji se promatraju i uzima u obzir bio kakvo horizontalno pregrađivanje

Sam proračun postignutog indeksa pregrađivanja izveden je pomoću aplikacije Excel. Svi izrazi prema kojima se računaju pojedine vrijednosti nalaze se u [10].

**Tablica 49. Ulazni podaci**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $L_s$ = | 176,2 | m | - duljina pregrađivanja |
| B = | 31,1 | m | - širina broda |
| | | | |
| $d_s$ = | 8,461 | m | - maksimalni gaz pri punom opterećenju (100% tereta i 100% zaliha) |
| $d_l$ = | 5,031 | m | - laki gaz (laki brod + 10% balasta) |
| dp= | 7,089 | m | - parcijalni gaz |
| $J_{max}$ = | 0,303 | | - prema [10] |
| $J_{kn}$ = | 0,152 | | |
| $p_k$ = | 0,917 | | |
| $l_{max}$ = | 60 | m | |
| L* = | 260 | m | |
| lmax/Ls= | 0,34051 | | |
| lmax/L*= | 0,23077 | | |

**Tablica 50. Račun**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **J = 0** | | | |
| $b_o$ = | 11 | | |
| | | | |
| **Ls<L*** | | | |
| $J_m$ = | 0,3030 | | |
| $J_k$ = | 0,1515 | - prema [10] | |
| | | | |
| $b_{12}$ = | 11 | | |
| $b_{11}$ = | -65,3400 | | |
| $b_{21}$ = | -7,2600 | | |
| $b_{22}$ = | 2,2000 | | |
| Oe = | 25 | max30, min 25 | TRUE |
| K = | 1 | | |
| $GZ_{max}$ = | 0,12 | <0,12 | TRUE |
| Raspon = | 16 | <16 | TRUE |
| **S =** | **1** | | |

| ds= 8.461 m | | | SB | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Damage** | **b** | **x1** | **x2** | **s** | **vm** | **J** | **Jn** | **p(x1,x2)** | **Jo** | **G** | **r(x1,x2,b)** | **As=r*v*s*p** |
| 11,00 | 15.55 | 0 | 16.8 | 1 | 1 | 0.0953 | 0.0953 | 0.0680 | 0.0333 | 0.1783 | 1.0000 | 0.06795 |
| 11,00 | 15.55 | 0 | 16.8 | -0.779 | 1 | 0.0953 | 0.0953 | 0.0680 | 0.0333 | 0.1783 | 1.0000 | -0.05293 |
| 12,00 | 15.55 | 0 | 43.25 | 0.779 | 1 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2119 | 0.0333 | 0.2031 | 1.0000 | 0.16507 |
| 61,00 | 15.55 | 149.05 | 176.205 | 1 | 1 | 0.1541 | 0.1541 | 0.1224 | 0.0333 | 0.1880 | 1.0000 | 0.12244 |
| 21,00 | 15.55 | 16.8 | 43.25 | 1 | 1 | 0.1501 | 0.1501 | 0.0871 | 0.0333 | 0.0443 | 1.0000 | 0.08710 |
| 21,00 | 15.55 | 16.8 | 43.25 | -0.779 | 1 | 0.1501 | 0.1501 | 0.0871 | 0.0333 | 0.0443 | 1.0000 | -0.06785 |
| 31,00 | 15.55 | 43.25 | 85.75 | 1 | 1 | 0.2412 | 0.2412 | 0.1741 | 0.0333 | 0.0744 | 1.0000 | 0.17414 |
| 41,00 | 15.55 | 85.75 | 128.25 | 1 | 1 | 0.2412 | 0.2412 | 0.1741 | 0.0333 | 0.0744 | 1.0000 | 0.17414 |
| 51,00 | 15.55 | 128.25 | 149.05 | 1 | 1 | 0.1180 | 0.1180 | 0.0587 | 0.0333 | 0.0337 | 1.0000 | 0.05873 |
| | | | | | | | | | | | **As=** | **0.72878** |
| | | | | | | | | **As>0.5R** | **TRUE** | | **0,4As=** | **0.29151** |

| dp= 7.089 m | | | SB | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Damage** | **b** | **x1** | **x2** | **s** | **vm** | **J** | **Jn** | **p(x1,x2)** | **Jo** | **G** | **r(x1,x2,b)** | **Ap=r*v*s*p** |
| 12,00 | 15.55 | 0 | 43.25 | 1 | 1 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2119 | 0.0333 | 0.2031 | 1.0000 | 0.21190 |
| 61,00 | 15.55 | 149.05 | 176.205 | 1 | 1 | 0.1541 | 0.1541 | 0.1224 | 0.0333 | 0.1880 | 1.0000 | 0.12244 |
| 31,00 | 15.55 | 43.25 | 85.75 | 1 | 1 | 0.2412 | 0.2412 | 0.1741 | 0.0333 | 0.0744 | 1.0000 | 0.17414 |
| 41,00 | 15.55 | 85.75 | 128.25 | 1 | 1 | 0.2412 | 0.2412 | 0.1741 | 0.0333 | 0.0744 | 1.0000 | 0.17414 |
| 51,00 | 15.55 | 128.25 | 149.5 | 1 | 1 | 0.1206 | 0.1206 | 0.0609 | 0.0333 | 0.0345 | 1.0000 | 0.06089 |
| | | | | | | | | | | | **Ap=** | **0.74351** |
| | | | | | | | | **Ap>0.5R** | **TRUE** | | **0,4Ap=** | **0.29740** |

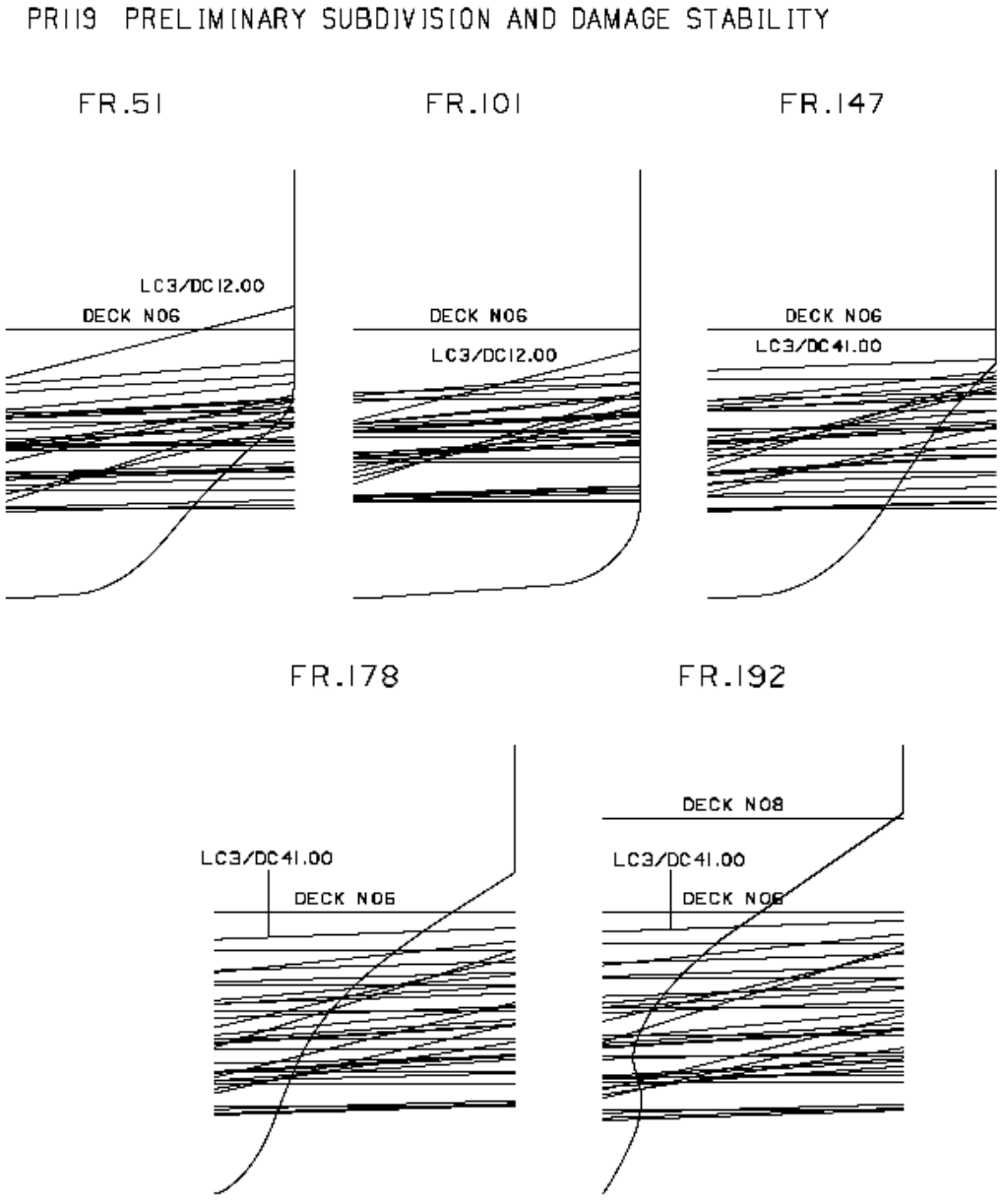
| dl= 5.031 m | | | SB | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Damage** | **b** | **x1** | **x2** | **s** | **vm** | **J** | **Jn** | **p(x1,x2)** | **Jo** | **G** | **r(x1,x2,b)** | **Al=r*v*s*p** |
| 12,00 | 15.55 | 0 | 43.25 | 1 | 1 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2119 | 0.0333 | 0.2031 | 1.0000 | 0.21190 |
| 61,00 | 15.55 | 149.05 | 176.205 | 1 | 1 | 0.1541 | 0.1541 | 0.1224 | 0.0333 | 0.1880 | 1.0000 | 0.12244 |
| 31,00 | 15.55 | 43.25 | 85.75 | 1 | 1 | 0.2412 | 0.2412 | 0.1741 | 0.0333 | 0.0744 | 1.0000 | 0.17414 |
| 41,00 | 15.55 | 85.75 | 128.25 | 1 | 1 | 0.2412 | 0.2412 | 0.1741 | 0.0333 | 0.0744 | 1.0000 | 0.17414 |
| 51,00 | 15.55 | 128.25 | 149.5 | 1 | 1 | 0.1206 | 0.1206 | 0.0609 | 0.0333 | 0.0345 | 1.0000 | 0.06089 |
| | | | | | | | | | | | **Al=** | **0.74351** |
| | | | | | | | | **Al>0.5R** | **TRUE** | | **0,2Al=** | **0.14870** |

Rezultat:

$$R = 0,61$$
$$A = 0,73762$$
$$A > R$$

Dakle, postignuti indeks pregrađivanja je postignut za sve zadane uvjete.

Na sljedećoj slici prikazane su vodne linije za pojedine slučajeve oštećenja za sva tri gore definirana gaza po rebrima. Svaka vodna linija predstavljena je jednom linijom. Pri tom se promatra najviša vodna linija, tj. vodna linija za najgori slučaj oštećenja. Ta vodna linija ne smije prijeći graničnu liniju (Tablica 34) koja se nalazi iznad 6. palube. Uz vodnu liniju koja predstavlja najgori slučaj oštećenja upisana je oznaka tog slučaja oštećenja. Oznaka LC3 odgovara stanju krcanja pri maksimalnom gazu $d_S$.




**Slika 42. Vodne linije za pojedine slučajeve oštećenja**

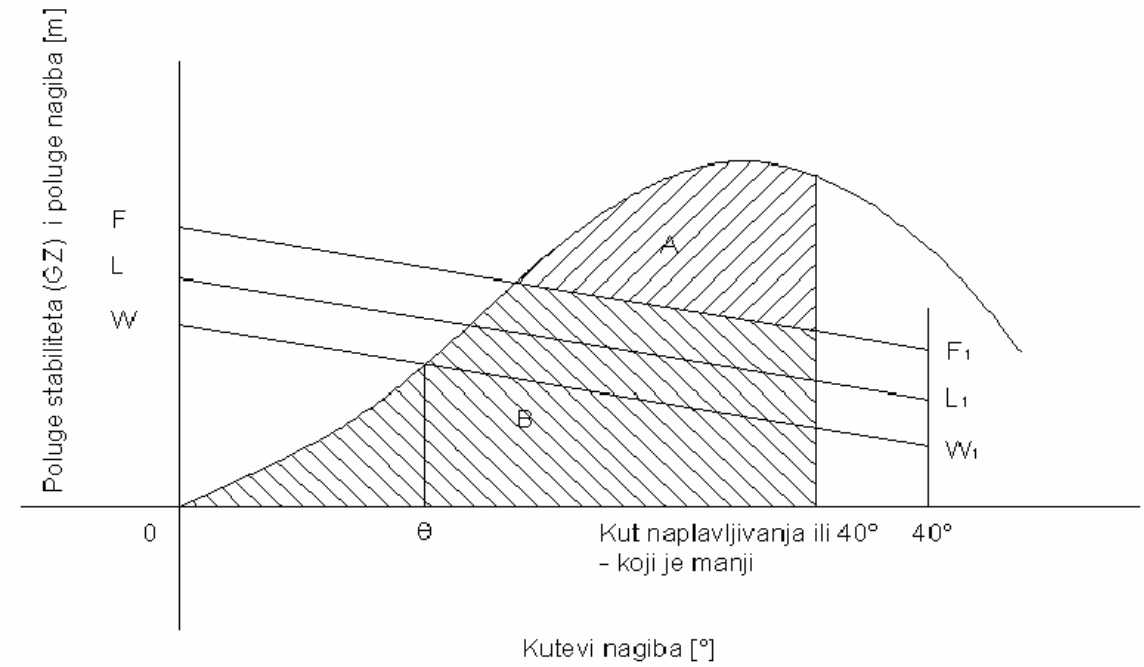
### 5.8.2 Stabilitet broda u neoštećenom stanju

Osnovni kriteriji stabiliteta u neoštećenom stanju koje brod treba zadovoljiti prema [11] (Pt3 Ch3 Sec9), odnosno prema propisima IMO Res. A.749(18), su sljedeći:

1. površina ispod krivulje poluga ne smije biti manja od 0,055 mrad do kuta nagiba od 30°;
2. površina ispod krivulje poluga ne smije biti manja od 0,09 mrad do kuta nagiba 40° ili do kuta naplavljivanja ako je taj kut manji od 40°;
3. površina ispod krivulje poluga između kuteva nagiba 30° i 40° ili 30° i kuta naplavljivanja (ako je taj kut manji od 40°) ne smije biti manja od 0,03 mrad;
4. poluga stabiliteta treba biti najmanje 0,2 m pri kutu nagiba jednakom ili većem od 30°;
5. maksimalna poluga stabiliteta trebala bi se pojaviti iznad kuta nagiba od 30°, ali nikako ispod kuta nagiba od 25°;
6. početna metacentarska visina ne smije biti manja od minimalne zahtijevane metacentarske visine u oštećenom stanju prema Tablica 48;
7. početna metacentarska visina ne smije biti manja od 0,15 m.

Prema [4], AMSA-ina pravila dodatne zahtjeve uslijed utjecaja vjetra, pomaka stočne hrane u skladištu i pomaka stoke prikazuje na sljedeći način:

1. kut nagiba uslijed vjetra ne smije biti veći od 10°;
2. površina A (prema sljedećoj slici) ne smije biti manja od 0,018 rad + 20% površine (A+B);
3. potrebno je uzeti u obzir utjecaj pomaka stoke i pomaka stočne hrane u skladištu (rasuti teret).




**Slika 43. Ilustracija za kriterije stabiliteta**

0W - poluga uslijed djelovanja momenta vjetra pri 0°
$WW_1$ - krivulja poluga uslijed djelovanja momenta vjetra
WL - poluga uslijed momenta zbog pomaka stoke pri 0°

$LL_1$ - krivulja poluga uslijed kombiniranog momenta zbog djelovanja vjetra i pomaka stoke
LF - poluga uslijed momenta zbog pomaka stočne hrane u skladištu pri 0°
$FF_1$ - krivulja poluga uslijed kombiniranog momenta zbog djelovanja vjetra, pomaka stoke i pomaka stočne hrane u skladištu
$\theta$ - kut nagiba uslijed vjetra

Proračun poluga uslijed djelovanja moment vjetra, pomaka stoke i pomaka stočne hrane računa se prema slijedećim izrazima. Sami rezultati biti će prikazani kasnije za svako pojedino stanje krcanja.

Pomak stoke:

$$Z = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} \rightarrow \text{Poluga nagiba pri } 0°$$

pri čemu su:

m - prosječna masa žive stoke po životinji
$C = \frac{B_{max} \cdot A}{6} = 17929,4$ - konstanta pomaka stoke
$B_{max} = 4,6$ m - maksimalna širina tora
A =23082,5 + 303,79 = 23386,3 - ukupna površina torova (prema Tablica 30)
f - površina palube po glavi stoke
D - istisnina

Pomak stočne hrane:

$$Y = \frac{F}{S \cdot D} \rightarrow \text{Poluga nagiba pri } 0°$$

pri čemu su:

F - moment uslijed pomaka stočne hrane
$S = 1,54\ m^3/t$ - faktor skladištenja stočne hrane
D - istisnina

Djelovanje vjetra:

$$X = \frac{0,05 \cdot A \cdot H}{D} \rightarrow \text{Poluga nagiba pri } 0°$$

pri čemu su:

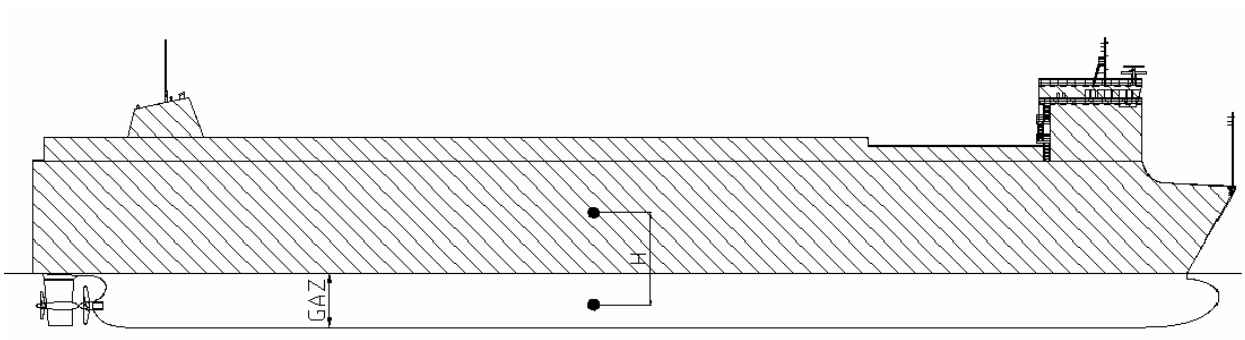
$P = 0,05\ t/m^2$ - tlak vjetra prema AMSA-i
A - bočna površina broda iznad vodne linije
H - vertikalna udaljenost između težišta bočne površine broda ispod i iznad vodne linije (prema Slika 44)
D - istisnina

Kut nagiba uslijed vjetra:

$$\text{Kut nagiba} = \frac{X}{GM} \cdot 57{,}3$$

pri čemu su:

GM - metacentarska visina
X - poluga nagiba pri 0° zbog djelovanja vjetra




**Slika 44. Površina broda izložena vjetru**

**Tablica 51. Površina izložena vjetru, udaljenost između težišta površina i poluga zbog djelovanja vjetra za različite gazove**

| Gaz [m] | A [$m^2$] | H [m] | X [m] |
|---|---|---|---|
| 5,0 | 3660 | 13,300 | 0,201 |
| 5,1 | 3643 | 13,299 | 0,195 |
| 5,2 | 3626 | 13,299 | 0,189 |
| 5,3 | 3608 | 13,299 | 0,184 |
| 5,4 | 3591 | 13,299 | 0,179 |
| 5,5 | 3574 | 13,299 | 0,174 |
| 5,6 | 3556 | 13,299 | 0,169 |
| 5,7 | 3539 | 13,299 | 0,165 |
| 5,8 | 3522 | 13,299 | 0,160 |
| 5,9 | 3504 | 13,300 | 0,156 |
| 6,0 | 3487 | 13,300 | 0,152 |
| 6,1 | 3469 | 13,300 | 0,148 |
| 6,2 | 3452 | 13,301 | 0,144 |
| 6,3 | 3435 | 13,301 | 0,141 |
| 6,4 | 3417 | 13,302 | 0,137 |
| 6,5 | 3400 | 13,302 | 0,134 |
| 6,6 | 3383 | 13,303 | 0,131 |
| 6,7 | 3365 | 13,303 | 0,127 |
| 6,8 | 3348 | 13,304 | 0,124 |
| 6,9 | 3331 | 13,304 | 0,121 |
| 7,0 | 3313 | 13,305 | 0,118 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7,1 | 3296 | 13,306 | 0,116 |
| 7,2 | 3279 | 13,307 | 0,113 |
| 7,3 | 3261 | 13,307 | 0,110 |
| 7,4 | 3244 | 13,308 | 0,108 |
| 7,5 | 3227 | 13,309 | 0,105 |
| 7,6 | 3210 | 13,310 | 0,103 |
| 7,7 | 3192 | 13,311 | 0,100 |
| 7,8 | 3175 | 13,311 | 0,098 |
| 7,9 | 3158 | 13,312 | 0,096 |
| 8,0 | 3141 | 13,313 | 0,094 |
| 8,1 | 3124 | 13,314 | 0,092 |
| 8,2 | 3107 | 13,315 | 0,090 |
| 8,3 | 3090 | 13,316 | 0,088 |
| 8,4 | 3073 | 13,317 | 0,086 |
| 8,5 | 3055 | 13,318 | 0,084 |
| 8,6 | 3038 | 13,319 | 0,082 |
| 8,7 | 3021 | 13,319 | 0,080 |
| 8,8 | 3004 | 13,320 | 0,078 |
| 8,9 | 2987 | 13,321 | 0,077 |
| 9,0 | 2970 | 13,322 | 0,075 |

U sljedećoj se tablici nalaze minimalne početne metacentarske visine za različite gazove prema kriterijima stabiliteta u neoštećenom stanju. U 2. i 3. stupcu nalaze se minimalne metacentarske visine, odnosno maksimalna visina težišta, koji obuhvaćaju sve kriterije, a u sljedećim stupcima nalaze se minimalne metacentarske visine za svako pojedini kriterij redom kako slijede:

1. površina = 0,055 mrad ispod krivulje poluga u području od 0 do 30°;
2. površina = 0,090 mrad ispod krivulje poluga u području od 0 do 40°;
3. površina = 0,030 mrad ispod krivulje poluga u području od 30 do 40°;
4. poluga = 0,20 m pri kutu od 20°;
5. poluga stabiliteta maksimalna pri kutu ne manje od 25°;
6. minimalna metacentarska visina pri 0° = 0,150 m
7. AMSA kriteriji za vjetar.

**Tablica 52. Minimalne metacentarske visine prema kriterijima stabiliteta u neoštećenom stanju**

| Gaz | MIN GM | MAX VCG | GM1 | GM2 | GM3 | GM4 | GM5 | GM6 | GM7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 5,0 | 1,288 | 14,684 | 0,598 | 0,633 | 0,629 | 0,697 | 0,498 | 0,150 | 1,288 |
| 5,1 | 1,142 | 14,693 | 0,530 | 0,544 | 0,513 | 0,585 | 0,300 | 0,150 | 1,142 |
| 5,2 | 0,998 | 14,705 | 0,468 | 0,458 | 0,394 | 0,473 | 0,090 | 0,150 | 0,998 |
| 5,3 | 0,869 | 14,718 | 0,416 | 0,385 | 0,294 | 0,375 | -0,033 | 0,150 | 0,869 |
| 5,4 | 0,744 | 14,728 | 0,356 | 0,308 | 0,193 | 0,276 | -0,135 | 0,150 | 0,744 |
| 5,5 | 0,623 | 14,734 | 0,294 | 0,230 | 0,094 | 0,178 | -0,237 | 0,150 | 0,623 |
| 5,6 | 0,522 | 14,734 | 0,248 | 0,166 | 0,006 | 0,092 | -0,328 | 0,150 | 0,522 |
| 5,7 | 0,441 | 14,718 | 0,193 | 0,100 | -0,075 | 0,007 | -0,414 | 0,150 | 0,441 |
| 5,8 | 0,360 | 14,702 | 0,136 | 0,032 | -0,157 | -0,079 | -0,501 | 0,150 | 0,360 |
| 5,9 | 0,287 | 14,683 | 0,086 | -0,029 | -0,233 | -0,160 | -0,584 | 0,150 | 0,287 |
| 6,0 | 0,224 | 14,667 | 0,044 | -0,080 | -0,296 | -0,229 | -0,653 | 0,150 | 0,224 |
| 6,1 | 0,157 | 14,655 | -0,007 | -0,136 | -0,359 | -0,301 | -0,723 | 0,150 | 0,157 |
| 6,2 | 0,150 | 14,582 | -0,058 | -0,193 | -0,423 | -0,375 | -0,795 | 0,150 | 0,150 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6,3 | 0,150 | 14,518 | -0,094 | -0,233 | -0,470 | -0,432 | -0,850 | 0,150 | 0,150 |
| 6,4 | 0,150 | 14,454 | -0,137 | -0,277 | -0,514 | -0,489 | -0,904 | 0,150 | 0,150 |
| 6,5 | 0,150 | 14,390 | -0,180 | -0,321 | -0,559 | -0,546 | -0,959 | 0,150 | 0,150 |
| 6,6 | 0,150 | 14,336 | -0,216 | -0,357 | -0,596 | -0,599 | -1,009 | 0,150 | 0,150 |
| 6,7 | 0,150 | 14,288 | -0,248 | -0,388 | -0,625 | -0,642 | -1,050 | 0,150 | 0,150 |
| 6,8 | 0,150 | 14,238 | -0,284 | -0,420 | -0,652 | -0,684 | -1,092 | 0,150 | 0,150 |
| 6,9 | 0,150 | 14,193 | -0,318 | -0,450 | -0,678 | -0,726 | -1,133 | 0,150 | 0,150 |
| 7,0 | 0,150 | 14,160 | -0,340 | -0,467 | -0,688 | -0,750 | -1,157 | 0,150 | 0,150 |
| 7,1 | 0,150 | 14,124 | -0,368 | -0,489 | -0,701 | -0,781 | -1,188 | 0,150 | 0,150 |
| 7,2 | 0,150 | 14,091 | -0,395 | -0,509 | -0,712 | -0,809 | -1,216 | 0,150 | 0,150 |
| 7,3 | 0,150 | 14,070 | -0,411 | -0,516 | -0,709 | -0,823 | -1,231 | 0,150 | 0,150 |
| 7,4 | 0,150 | 14,048 | -0,427 | -0,523 | -0,703 | -0,831 | -1,241 | 0,150 | 0,150 |
| 7,5 | 0,150 | 14,030 | -0,444 | -0,530 | -0,697 | -0,843 | -1,255 | 0,150 | 0,150 |
| 7,6 | 0,150 | 14,019 | -0,462 | -0,533 | -0,682 | -0,844 | -1,259 | 0,150 | 0,150 |
| 7,7 | 0,150 | 14,017 | -0,463 | -0,522 | -0,656 | -0,834 | -1,253 | 0,150 | 0,150 |
| 7,8 | 0,150 | 14,011 | -0,471 | -0,515 | -0,631 | -0,823 | -1,246 | 0,150 | 0,150 |
| 7,9 | 0,150 | 14,010 | -0,479 | -0,508 | -0,605 | -0,813 | -1,241 | 0,150 | 0,150 |
| 8,0 | 0,150 | 14,029 | -0,468 | -0,480 | -0,554 | -0,777 | -1,211 | 0,150 | 0,150 |
| 8,1 | 0,150 | 14,040 | -0,461 | -0,457 | -0,508 | -0,744 | -1,185 | 0,150 | 0,150 |
| 8,2 | 0,150 | 14,059 | -0,451 | -0,430 | -0,456 | -0,708 | -1,156 | 0,150 | 0,150 |
| 8,3 | 0,150 | 14,098 | -0,424 | -0,385 | -0,383 | -0,650 | -1,108 | 0,150 | 0,150 |
| 8,4 | 0,150 | 14,147 | -0,386 | -0,330 | -0,297 | -0,578 | -1,047 | 0,150 | 0,150 |
| 8,5 | 0,150 | 14,181 | -0,361 | -0,287 | -0,222 | -0,515 | -0,998 | 0,150 | 0,150 |
| 8,6 | 0,150 | 14,238 | -0,316 | -0,224 | -0,127 | -0,434 | -0,932 | 0,150 | 0,150 |
| 8,7 | 0,150 | 14,320 | -0,247 | -0,136 | 0,001 | -0,318 | -0,837 | 0,150 | 0,150 |
| 8,8 | 0,150 | 14,383 | -0,195 | -0,068 | 0,106 | -0,225 | -0,719 | 0,150 | 0,150 |
| 8,9 | 0,235 | 14,380 | -0,125 | 0,019 | 0,235 | -0,108 | -0,477 | 0,150 | 0,150 |

Ako se dobivene vrijednosti minimalnih metacentarskih visina usporede sa minimalnim metacentarskim visinama prema kriterijima za stabilitet broda u oštećenom stanju (Tablica 48), vidljivo je da su minimalne početne metacentarske visine prema Tablica 48 veće pa njih treba uzeti u obzir prilikom razmtranja pojedinih stanja krcanja.

U sljedećoj tablici se nalaze podaci vezani uz hidrostatiku projektiranoga broda. Podaci su dani u ovisnosti o gazu za TRIM = 0, a za gaz broda na uzdužnom položaju težišta vodne linije.

DISPL - istisnina
TPCM - jedinični zagažaj
MCT/CM - jedinični moment trima
LCB - uzdužni položaj težišta istisnine
LCF - uzdužni položaj težišta vodne linije
KMT - visina poprečnog metacentra
KML - visina uzdužng metacentra
VCB - visina težišta istisnine

**Tablica 53. Hidrostatika**

| TRIM = | 0 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GUSTOĆA = | 1,025 | | | | | | | |
| Gaz | DISPL | TPCM | MCT/CM | LCB | LCF | KMT | KML | VCB |
| [m] | [t] | [t/cm] | [tm/cm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 5,016 | 12120,5 | 30,616 | 217,37 | -1,681 | -0,356 | 15,941 | 298,73 | 2,816 |
| 5,116 | 12427,3 | 30,760 | 218,76 | -1,649 | -0,376 | 15,808 | 293,32 | 2,871 |
| 5,216 | 12735,7 | 30,904 | 220,13 | -1,618 | -0,399 | 15,682 | 288,12 | 2,927 |
| 5,316 | 13045,4 | 31,046 | 221,52 | -1,590 | -0,433 | 15,562 | 283,16 | 2,982 |
| 5,416 | 13356,6 | 31,187 | 222,88 | -1,563 | -0,474 | 15,447 | 278,37 | 3,037 |
| 5,516 | 13669,2 | 31,327 | 224,21 | -1,539 | -0,524 | 15,337 | 273,74 | 3,092 |
| 5,616 | 13983,1 | 31,465 | 225,56 | -1,517 | -0,580 | 15,232 | 269,30 | 3,147 |
| 5,716 | 14298,5 | 31,605 | 226,95 | -1,497 | -0,638 | 15,133 | 265,10 | 3,202 |
| 5,816 | 14615,2 | 31,745 | 228,34 | -1,479 | -0,703 | 15,040 | 261,05 | 3,258 |
| 5,916 | 14933,4 | 31,884 | 229,73 | -1,463 | -0,778 | 14,952 | 257,15 | 3,313 |
| 6,016 | 15252,9 | 32,022 | 231,06 | -1,449 | -0,859 | 14,869 | 253,33 | 3,368 |
| 6,116 | 15573,8 | 32,162 | 232,44 | -1,438 | -0,959 | 14,791 | 249,68 | 3,423 |
| 6,216 | 15896,1 | 32,304 | 233,92 | -1,430 | -1,054 | 14,717 | 246,29 | 3,479 |
| 6,316 | 16219,9 | 32,447 | 235,39 | -1,423 | -1,171 | 14,648 | 242,99 | 3,534 |
| 6,416 | 16545,1 | 32,589 | 236,78 | -1,420 | -1,304 | 14,584 | 239,73 | 3,589 |
| 6,516 | 16871,7 | 32,735 | 238,34 | -1,419 | -1,443 | 14,525 | 236,74 | 3,645 |
| 6,616 | 17199,8 | 32,885 | 239,97 | -1,420 | -1,590 | 14,470 | 233,90 | 3,700 |
| 6,716 | 17529,4 | 33,044 | 241,96 | -1,425 | -1,725 | 14,419 | 231,50 | 3,756 |
| 6,816 | 17860,7 | 33,208 | 244,10 | -1,432 | -1,861 | 14,373 | 229,32 | 3,811 |
| 6,916 | 18193,6 | 33,379 | 246,50 | -1,441 | -1,987 | 14,331 | 227,42 | 3,867 |
| 7,016 | 18528,3 | 33,553 | 249,01 | -1,452 | -2,110 | 14,293 | 225,68 | 3,922 |
| 7,116 | 18864,8 | 33,748 | 252,23 | -1,465 | -2,236 | 14,259 | 224,59 | 3,978 |
| 7,216 | 19203,3 | 33,949 | 255,68 | -1,479 | -2,348 | 14,230 | 223,72 | 4,034 |
| 7,316 | 19543,8 | 34,156 | 259,32 | -1,495 | -2,464 | 14,204 | 223,03 | 4,090 |
| 7,416 | 19886,5 | 34,389 | 263,75 | -1,513 | -2,622 | 14,183 | 222,98 | 4,146 |
| 7,516 | 20231,6 | 34,633 | 268,58 | -1,534 | -2,797 | 14,167 | 223,24 | 4,203 |
| 7,616 | 20579,2 | 34,900 | 274,13 | -1,557 | -3,007 | 14,156 | 224,05 | 4,259 |
| 7,716 | 20929,8 | 35,174 | 279,72 | -1,583 | -3,217 | 14,149 | 224,84 | 4,316 |
| 7,816 | 21283,3 | 35,547 | 289,27 | -1,614 | -3,637 | 14,147 | 228,63 | 4,373 |
| 7,916 | 21640,9 | 35,964 | 300,65 | -1,652 | -4,141 | 14,150 | 233,66 | 4,431 |
| 8,016 | 22002,5 | 36,364 | 311,50 | -1,696 | -4,595 | 14,157 | 238,09 | 4,488 |
| 8,116 | 22368,2 | 36,785 | 322,93 | -1,747 | -5,072 | 14,173 | 242,75 | 4,547 |
| 8,216 | 22738,2 | 37,206 | 334,38 | -1,805 | -5,539 | 14,195 | 247,25 | 4,605 |
| 8,316 | 23112,4 | 37,630 | 345,92 | -1,870 | -5,994 | 14,223 | 251,62 | 4,664 |
| 8,416 | 23490,9 | 38,078 | 358,21 | -1,940 | -6,475 | 14,263 | 256,33 | 4,724 |
| 8,516 | 23874,0 | 38,539 | 370,87 | -2,017 | -6,962 | 14,313 | 261,10 | 4,783 |
| 8,616 | 24261,7 | 39,009 | 383,83 | -2,099 | -7,447 | 14,373 | 265,88 | 4,844 |
| 8,716 | 24654,2 | 39,482 | 396,96 | -2,188 | -7,926 | 14,443 | 270,57 | 4,904 |
| 8,816 | 25051,3 | 39,945 | 409,77 | -2,283 | -8,372 | 14,518 | 274,86 | 4,965 |
| 8,916 | 25453,0 | 40,403 | 422,42 | -2,382 | -8,796 | 14,601 | 278,86 | 5,027 |
| 9,016 | 25859,4 | 40,863 | 435,13 | -2,487 | -9,213 | 14,695 | 282,73 | 5,088 |
| 9,116 | 26270,4 | 41,339 | 448,35 | -2,595 | -9,636 | 14,805 | 286,75 | 5,150 |
| 9,216 | 26686,4 | 41,868 | 463,18 | -2,709 | 10,124 | 14,950 | 291,59 | 5,213 |
| 9,316 | 27107,7 | 42,401 | 478,07 | -2,828 | 10,600 | 15,112 | 296,27 | 5,275 |
| 9,416 | 27534,1 | 42,874 | 491,05 | -2,951 | 10,972 | 15,258 | 299,61 | 5,338 |
| 9,516 | 27965,1 | 43,305 | 502,85 | -3,077 | 11,280 | 15,388 | 302,09 | 5,402 |
| 9,616 | 28400,1 | 43,700 | 513,79 | -3,205 | 11,533 | 15,504 | 303,97 | 5,465 |
| 9,716 | 28838,9 | 44,036 | 522,56 | -3,333 | 11,692 | 15,593 | 304,51 | 5,529 |
| 9,816 | 29280,7 | 44,321 | 529,71 | -3,460 | 11,775 | 15,654 | 304,09 | 5,593 |
| 9,916 | 29725,2 | 44,589 | 536,36 | -3,584 | 11,831 | 15,705 | 303,38 | 5,656 |

Podaci za KN krivulje za različite gazove dani su u sljedećoj tablici. Za bilo koju visinu težišta i kut nagiba broda, poluga stabiliteta računa se prema izrazu:

$$G'Z = KN - \sin\theta \cdot KG'$$

**Tablica 54. KN vrijednosti za TRIM = 0**

| Gaz | Kutevi nagiba [°] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | 0,1 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 5,0 | 0,028 | 1,391 | 2,763 | 5,398 | 7,837 | 10,004 | 11,450 | 11,968 |
| 5,1 | 0,028 | 1,379 | 2,743 | 5,375 | 7,825 | 9,990 | 11,417 | 11,929 |
| 5,2 | 0,027 | 1,368 | 2,722 | 5,350 | 7,815 | 9,980 | 11,381 | 11,888 |
| 5,3 | 0,027 | 1,358 | 2,702 | 5,327 | 7,806 | 9,968 | 11,347 | 11,848 |
| 5,4 | 0,027 | 1,348 | 2,686 | 5,308 | 7,798 | 9,955 | 11,312 | 11,806 |
| 5,5 | 0,027 | 1,339 | 2,669 | 5,291 | 7,790 | 9,941 | 11,274 | 11,764 |
| 5,6 | 0,027 | 1,330 | 2,651 | 5,271 | 7,782 | 9,928 | 11,239 | 11,721 |
| 5,7 | 0,026 | 1,322 | 2,637 | 5,257 | 7,776 | 9,913 | 11,203 | 11,678 |
| 5,8 | 0,026 | 1,314 | 2,623 | 5,245 | 7,770 | 9,898 | 11,163 | 11,635 |
| 5,9 | 0,026 | 1,306 | 2,609 | 5,231 | 7,765 | 9,882 | 11,127 | 11,592 |
| 6,0 | 0,026 | 1,299 | 2,597 | 5,219 | 7,760 | 9,865 | 11,090 | 11,549 |
| 6,1 | 0,026 | 1,293 | 2,586 | 5,210 | 7,756 | 9,847 | 11,049 | 11,505 |
| 6,2 | 0,026 | 1,286 | 2,575 | 5,201 | 7,754 | 9,829 | 11,013 | 11,463 |
| 6,3 | 0,026 | 1,281 | 2,564 | 5,193 | 7,750 | 9,810 | 10,974 | 11,419 |
| 6,4 | 0,025 | 1,275 | 2,556 | 5,187 | 7,746 | 9,789 | 10,937 | 11,376 |
| 6,5 | 0,025 | 1,270 | 2,547 | 5,182 | 7,743 | 9,769 | 10,898 | 11,334 |
| 6,6 | 0,025 | 1,265 | 2,539 | 5,177 | 7,742 | 9,747 | 10,858 | 11,290 |
| 6,7 | 0,025 | 1,261 | 2,532 | 5,172 | 7,740 | 9,725 | 10,819 | 11,247 |
| 6,8 | 0,025 | 1,257 | 2,527 | 5,168 | 7,736 | 9,702 | 10,782 | 11,204 |
| 6,9 | 0,025 | 1,254 | 2,521 | 5,167 | 7,735 | 9,679 | 10,743 | 11,162 |
| 7,0 | 0,025 | 1,251 | 2,516 | 5,164 | 7,730 | 9,655 | 10,704 | 11,119 |
| 7,1 | 0,025 | 1,248 | 2,514 | 5,161 | 7,728 | 9,630 | 10,665 | 11,076 |
| 7,2 | 0,025 | 1,246 | 2,510 | 5,161 | 7,725 | 9,606 | 10,627 | 11,034 |
| 7,3 | 0,025 | 1,244 | 2,509 | 5,160 | 7,721 | 9,580 | 10,588 | 10,991 |
| 7,4 | 0,025 | 1,243 | 2,508 | 5,159 | 7,715 | 9,554 | 10,549 | 10,948 |
| 7,5 | 0,025 | 1,241 | 2,507 | 5,160 | 7,711 | 9,527 | 10,510 | 10,905 |
| 7,6 | 0,025 | 1,240 | 2,513 | 5,162 | 7,706 | 9,499 | 10,471 | 10,863 |
| 7,7 | 0,025 | 1,241 | 2,513 | 5,162 | 7,701 | 9,472 | 10,431 | 10,820 |
| 7,8 | 0,025 | 1,240 | 2,517 | 5,164 | 7,692 | 9,443 | 10,392 | 10,777 |
| 7,9 | 0,025 | 1,241 | 2,521 | 5,166 | 7,686 | 9,414 | 10,353 | 10,735 |
| 8,0 | 0,025 | 1,243 | 2,526 | 5,170 | 7,678 | 9,384 | 10,313 | 10,691 |
| 8,1 | 0,025 | 1,246 | 2,531 | 5,172 | 7,667 | 9,354 | 10,273 | 10,649 |
| 8,2 | 0,025 | 1,247 | 2,537 | 5,176 | 7,659 | 9,323 | 10,233 | 10,607 |
| 8,3 | 0,025 | 1,251 | 2,544 | 5,180 | 7,649 | 9,291 | 10,192 | 10,563 |
| 8,4 | 0,025 | 1,257 | 2,551 | 5,185 | 7,637 | 9,258 | 10,151 | 10,520 |
| 8,5 | 0,025 | 1,261 | 2,558 | 5,189 | 7,623 | 9,225 | 10,111 | 10,478 |
| 8,6 | 0,025 | 1,266 | 2,565 | 5,194 | 7,611 | 9,192 | 10,069 | 10,435 |
| 8,7 | 0,025 | 1,273 | 2,574 | 5,200 | 7,594 | 9,156 | 10,027 | 10,392 |
| 8,8 | 0,025 | 1,279 | 2,582 | 5,205 | 7,579 | 9,121 | 9,986 | 10,349 |
| 8,9 | 0,026 | 1,286 | 2,590 | 5,211 | 7,562 | 9,085 | 9,944 | 10,307 |
| 9,0 | 0,026 | 1,294 | 2,599 | 5,218 | 7,542 | 9,047 | 9,900 | 10,263 |

U slijedećoj tablici dane su vrijednosti dozvoljenih momenata savijanja i smičnih sila za mirno more po duljini broda. U 4. stupcu dane su negativne vrijednosti za progib pa se može u stvari razlikovati maksimalni i minimalni pregib. Naime, zbog velike osjetljivosti ukrepljenja paluba na izvijanje, potrebno je spriječiti nastajanje progiba kod kojeg se javljaju veliki tlakovi koji nastoje izvinuti uzdužnjake paluba.

**Tablica 55. Dozvoljeni momenti savijanja i smične sile za mirno more [12]**

| Rebro br. | Hogging seagoing (pregib) | Hogging harbour (pregib) | Sagging seagoing (progib) | Sagging harbour (progib) | Smične sile (+) (seagoing) | Smične sile (-) (seagoing) | Smične sile (+) (harbour) | Smične sile (-) (harbour) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [tm] | [tm] | [tm] | [tm] | [t] | [t] | [t] | [t] |
| -7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 50663 | 74516 | -16616 | 0 | 2599 | -2222 | 3078 | -3007 |
| 51 | 90520 | 132314 | -42406 | 0 | 2426 | -1988 | 2936 | -2834 |
| 60 | 91743 | 159633 | -54740 | 0 | 2243 | -1886 | 3201 | -3099 |
| 64 | 93782 | 170234 | -59735 | 0 | 2273 | -1927 | 3231 | -3129 |
| 80 | 122324 | 170234 | -59735 | 0 | 2497 | -2436 | 3425 | -3405 |
| 101 | 122324 | 170234 | -59735 | 0 | 2559 | -2559 | 3467 | -3466 |
| 120 | 122324 | 170234 | -59735 | 0 | 2518 | -2518 | 3435 | -3435 |
| 140 | 99898 | 170234 | -50867 | 0 | 2283 | -2650 | 3242 | -3354 |
| 146 | 91743 | 156973 | -43017 | 0 | 2263 | -2854 | 3568 | -3680 |
| 150 | 51070 | 144954 | -36290 | 0 | 2569 | -2946 | 3874 | -3986 |
| 160 | 46381 | 115494 | -21815 | 0 | 2192 | -2579 | 3507 | -3619 |
| 170 | 34659 | 86646 | -11621 | 0 | 2192 | -2579 | 3507 | -3619 |
| 176 | 27625 | 69011 | -7543 | 0 | 1570 | -1876 | 2630 | -3741 |
| 180 | 22936 | 57187 | -5403 | 0 | 2548 | -2803 | 3435 | -3507 |
| 192 | 8970 | 22018 | -1019 | 0 | 2875 | -2977 | 3211 | -3242 |
| 213 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Prije prikaza pojedinih stanja s proračunom svih potrebnih veličina i provjere zadovoljenja kriterija stabiliteta, dan je primjer proračuna svih veličina koje će kasnije biti prikazane u tablicama za svako pojedino stanje.

1 Proračun stanja krcanja

Primjer proračuna prikazan je za stanje krcanja br. 6.
Naziv stanja krcanja: Homogeno opterećenje od tereta (IMO) u dolasku.
Metoda proračuna odgovara za sva stanja krcanja.

2 Proračun nosivosti

2.1 Definiranje tankova koji sadrže tekućine

Potrebno je definirati koji tankovi sadrže tekućine koju vrstu tekućine sadrže. Potrebno je definirati masu i položaj težišta tankova. Uzdužne poluge i momenti su pozitivni prema pramcu i negativni prema krmi od sredine broda.

2.2 Tablica s popisom tankova

Tablica s popisom tankova nalazi se na stranicama 60-61 (Tablica 28).

## 2.3 Djelomično napunjeni tankovi

Za tankove koji su djelomično popunjeni, potrebni podaci uzimaju se iz tablice kalibracije tankova. Tablice kalibracije ovdje nisu prikazane zbog velikog opsega, ali potrebni podaci su uzeti u obzir u proračunu.

## 2.4 Definiranje tereta – žive stoke

Potrebno je definirati broj, prosječnu masu i vertikalni položaj težišta stoke iznad palube. Masa stoke po palubama dana je za pojedina stanja krcanja.

## 2.5 Tablica s popisom žive stoke

Tablica 30 daje popis svih torova po palubama s površinom koju obuhvaćaju. Predviđena prosječna masa jedne životinje je 470 kg. Prema AMSA-inim propisima [4], minimalna površina po glavi goveda za prosječnu masu od 470 kg je 1,688 $m^2$ čiste površine tora. Ovi podaci su uzeti u obzir prilikom proračuna, a u tablicama za pojedina stanja dane su ukupne mase stoke po pojedinim palubama.

## 2.6 Masa stočne hrane

Potrebna masa stočne hrane za prehranu stoke na putovanju od 19 dana pri čemu se uzimaju u obzir dodatna 3 dana rezerve definirana je brojem stoke i količinom hrane koja stoka dnevno pojede. Dnevna količina hrane po grlu stoke definirana je AMSA-inim [4] propisima. Prema Appendix 7 [4] minimalna količina hrane po glavi stoke iznosi 2% mase žive stoke. To znači da za pretpostavljenu masu jedinke junadi od 470 kg potrebno je osigurati dnevno 9,4 kg hrane po glavi stoke. Za ukupnu masu stoke od 6415 t potrebno je osigurati 2823 t hrane.

# 3 Proračun istisnine, VCG i LCG

## 3.1 Proračun momenata

Momenti se dobiju tako da se masa pomnože s odgovarajućim krakom.

## 3.2 Masa broda

Masa broda preuzeta je iz tablice centracije (Tablica 32). Masa broda jednaka je = 10751,0 t.

## 3.3 Istisnina

Istisnina za pojedino stanje krcanja dobiva se zbrajanjem mase broda i mase nosivosti za svako pojedino stanje: 10751,0+10695.6 = 21446.6 t.

## 3.4 VCG i LCG

Množenjem pojedinih masa sa krakom (vertikalnim i uzdužnim krakom) dobiva se moment. Zbrajanjem vertikalnih momenata i dijeljenjem s ukupnom masom dobiva se vertikalni položaj težišta, a zbrajanjem uzdužnih momenata i dijeljenjem s ukupno masom dobiva se uzdužni položaj težišta sustava.

# 4 Korekcija za utjecaj slobodnih površina djelomično popunjenih tankova

## 4.1 Djelomično popunjeni tankovi

Sljedeći tankovi utječu na položaj težišta zbog efekta slobodne površine za stanje krcanja br. 6:

| Naziv tanka | Specifična težina [t/m$^3$] | Moment slobodne površine [tm] |
|---|---|---|
| Bunker Tank SB HFO | 0,96 | 2092,86 |
| Bunker Tank PS HFO | 0,96 | 2092,86 |
| HFO Daily Tk No1 | 0,96 | 1,15 |
| HFO Daily Tk LS | 0,96 | 1,15 |
| HFO Daily Tk No2 | 0,96 | 7,38 |
| DO Storage Tk SB | 0,86 | 109,07 |
| DO Service Tk AMSA | 0,86 | 25,17 |
| M.Eng.L.O.Storage Tk | 0,9 | 10,14 |
| M.E.Cyl.Oil St.Tk | 0,9 | 15,21 |
| A.Eng.L.Oil Drain Tk | 0,9 | 1,72 |
| A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 0,9 | 1,72 |
| M.Eng.L.O.Circ.Tk | 0,9 | 7,67 |
| Renovating L.Oil Tk | 0,9 | 76,59 |
| Fresh W.Tk SB | 1 | 82,92 |
| Fresh W.Tk PS | 1 | 82,92 |
| Fresh W Coll Tk Aft | 1 | 61,64 |
| Feed Water Tk | 1 | 29,7 |
| DB Tk No3 SB FW/WB | 1 | 1531,16 |
| DB Tk No3 PS FW/WB | 1 | 1531,16 |
| Bilge Water Coll.Tk | 1 | 41,09 |
| Separators Sludge Tk | 1 | 14,94 |
| Drain/Sludge Tk | 1 | 4,05 |
| Holding Tank | 1 | 84,03 |
| UKUPNO | | 7906,3 |

## 4.2 Korekcija KG-a za utjecaj slobodnih površina

KG' - korigirana visina težišta

GG' = KG' – KG

$$GG' = \frac{\text{ukupni moment slobodne površine}}{\text{istisnina}} = \frac{7906,3}{21446,6} = 0,3687 \text{ m}$$

GG' = ukupni moment slobodne površine/istisnina

# 5 Proračun stabiliteta

## 5.1 Podaci iz tablice za stanja krcanja

| | |
|---|---|
| Istisnina | = 21446,6 t |
| VCG od BL | = 12,03 m |
| Korekcija za utjecaj slobodne površine GG' | = 0,3687 m |

## 5.2 Vertikalni položaj težišta sustava korigiran za utjecaj slobodne površine

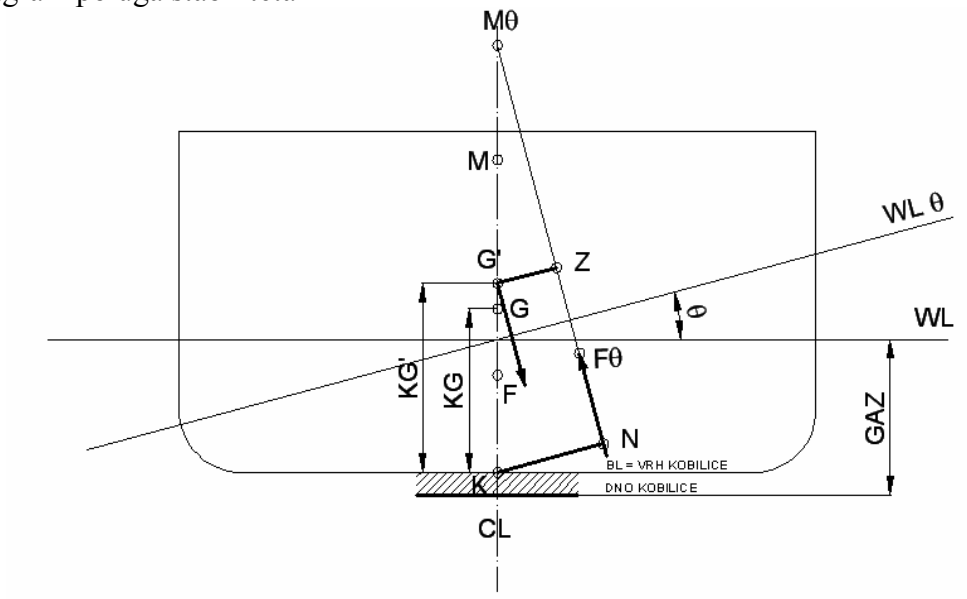
$KG' = KG + GG'$
$= 12,03 + 0,3687 = 12,399$ m

## 5.3 Visina poprečnog metacentra

Visina poprečnog metcentra jednaka određuje se na gazu na uzdužnom položaju težišta vodne linije. S obzirom da je trim u kod stanja br. 6 -1.471 m, a podaci u tablici hidrostatike su za trim = 0, ne možemo direktno očitati vertikalni položaj poprečnog metacentra, ali se taj utjecaj trima prilikom samog provođenja algoritma uzima u obzir. Metacentarska visina je prema tome:

$G'M = KM - KG' = 2,033$ m

## 5.4 Dijagram poluga stabiliteta



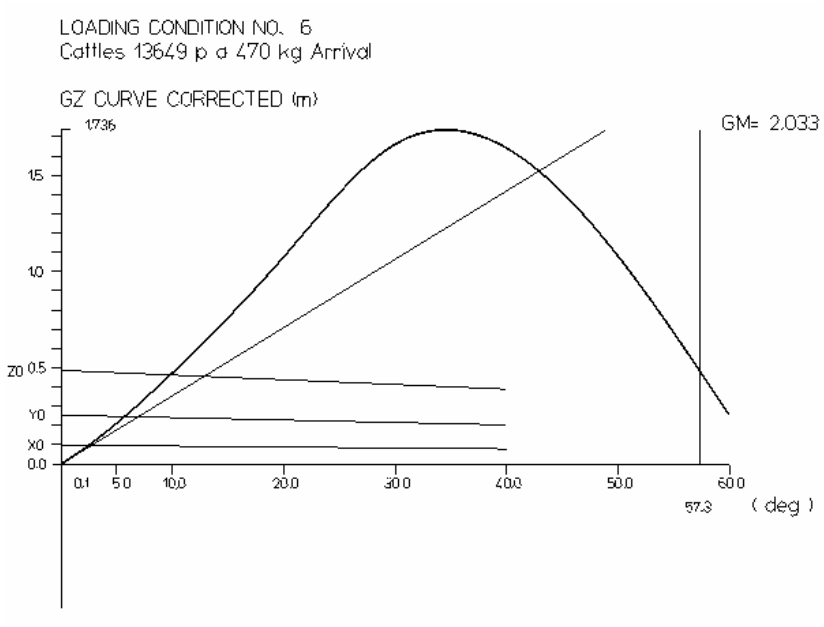

$$G'Z = KN - \sin\theta \cdot KG'$$

## 5.5 KN vrijednosti za kuteve nagiba

Vrijednosti poluga računaju se prema gornjem izrazu, a vrijednosti KN računaju se za odgovarajući trim. U prije prikazanoj tablici nalaze se KN vrijednosti za trim = 0.

| Kut nagiba | 0.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KN | 0.025 | 1.271 | 2.584 | 5.229 | 7.722 | 9.427 | 10.358 | 10.736 |
| GZ bez korekcije | 0.004 | 0.222 | 0.495 | 1.114 | 1.707 | 1.694 | 1.143 | 0.318 |
| GZ korigirnao | 0.004 | 0.212 | 0.474 | 1.078 | 1.662 | 1.641 | 1.079 | 0.252 |

## 5.6 Krivulja poluga stabiliteta




## 5.7 Podaci koje je potrebno prikazati na krivulji poluga stabiliteta

a) Tangentu na krivulju poluga u ishodištu i to tako da se na kutu 1 rad (57,3 rad) ucrta metacentarska visina i ta točka spoji s ishodištem.
b) Polugu (krak) na kojoj djeluje moment pomaka stoke Z (prema 5.8.2):

$$Z0° = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} = \frac{0,47 \cdot 17929,3}{1,688 \cdot 21446,6} = 0,2328\,\text{m}$$

$$Z40° = 0,8 \cdot Z0° = 0,1862\ \text{m}$$

c) Polugu (krak) na kojoj djeluje moment pomaka stočne hrane Y (prema 5.8.2):

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = \frac{5141}{1,54 \cdot 21446,6} = 0,1557\,\text{m}$$

$$Y40° = 0,8 \cdot Y0° = 0,1245\ \text{m}$$

d) Polugu (krak) na kojoj djeluje moment vjetra X (prema 5.8.2):

$$X0° = \frac{P \cdot A \cdot H}{D} = \frac{0,05 \cdot 3159,4 \cdot 13,311}{21446,6} = 0,098\,\text{m}$$

$$X40° = 0,8 \cdot X0° = 0,0784\ \text{m}$$

## Stanja krcanja

O ovom dijelu poglavlja dani su izlazni podaci proračuna trima, stabiliteta u uzdužne čvrstoće za pojedina stanja krcanja broda. Za svako stanje dani su redom sljedeći podaci:

- broj i naziv stanja krcanja;
- popis svih masa koje ulaze u stanje krcanja sa proračunom centracije;
- gaz, trim, korigirana metacentarska visina i kut nagiba broda;
- podaci za krivulju poluga stabiliteta;
- vrijednosti poluga momenata uslijed pomaka stoke, stočn hrane i djelovanja vjetra;
- proračun traženih vrijednosti prema kriterijima stabiliteta u neoštećenom stanju te usporedba postignutih vrijednosti (actual) sa zahtijevanim vrijednostima (required);
- posljednji tablični podaci obuhvaćaju proračun uzdužne čvrstoće sa vrijednostima smičnih sila i momenata savijanja po dužini broda;
- na kraju je dan grafički prikaz rezultata proračuna u obliku krivulje poluga stabiliteta sa ucrtanim traženim vrijednostima te dijagram smičnih sila i momenata savijanja.

```
SEAKING HYDROSTATIC SYSTEM      2008-05-13 TIME 21.29

 LIVESTOCK CARRIER
 CONDITION NO        1 OVO NIJE SLUČAJ PLOVIDBE
 ======================

 Light Ship Condition

:------------------------------:------:--------:--------:------:-------:--------:------:
:                              :SPECIF:        :   LCG  : VCG  :  TCG  :  FREE  :      :
:                              :WEIGHT: WEIGHT :  FROM  : FROM :  FROM : SURFACE: PERC.:
:         WEIGHT ITEM          :  OR  :        :   L/2  :  BL  :   CL  : MOMENT :  OF  :
:                              : UNIT :--------:--------:------:-------:--------: FILL.:
:                              :WEIGHT:  TON   :    M   :  M   :   M   : TON*M  :      :
:------------------------------:------:--------:--------:------:-------:--------:------:
TOTAL DEADWEIGHT                           0.000

-------------------------------------------------------------------------------------------
TOTAL DEADWEIGHT                           0.000      NaN    NaN     NaN     0.00
-------------------------------------------------------------------------------
LIGHT SHIP                               10751.0   -6.345 12.930   0.000
-------------------------------------------------------------------------------
TOTAL DISPLACEMENT                       10751.0   -6.345 12.930   0.000     0.00
===============================================================================
Draft aft                                                =        5.705 M
Draft amidship                                           =        4.549 M
Draft fore                                               =        3.392 M
Trim                                                     =       -2.313 M
Propeller immersion  92.05 %
GM - metacentric height                                  =        3.829 M
GG'- free surface corection                              =        0.000 M
G'M - corrected metacentrtic height                      =        3.829 M
Angle of heel                                            =        0.000 DEG

angles of heel       0.1    5.0   10.0   20.0   30.0   40.0   50.0   60.0
KN                 0.029  1.458  2.892  5.605  8.054 10.191 11.678 12.155
GZ uncorrected     0.007  0.331  0.647  1.183  1.589  1.880  1.773  0.957
GZ corr.real f.s   0.007  0.331  0.647  1.183  1.589  1.880  1.773  0.957


STABILITY CRITERIA EVALUATION
=============================

NO  DESCRIPTION                                                        REQUIRED   ACTUAL
-------------------------------------------------------------------------------------
 1  AREA UNDER GZC CURVE FROM   0.0 TO 30.0 DEGREES                       0.055    0.462
 2  AREA UNDER GZC CURVE FROM   0.0 TO 40.0 DEGREES                       0.090    0.768
 3  AREA UNDER GZC CURVE FROM  30.0 TO 40.0 DEGREES                       0.030    0.306
 4  GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES                                         0.200    1.589
```

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 | RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 25.0 DEGREES | | | 43.200 |
| 6 | SLOPE OF GZC CURVE AT THE ANGLE 0.0 DEGREES | | 0.150 | 3.829 |

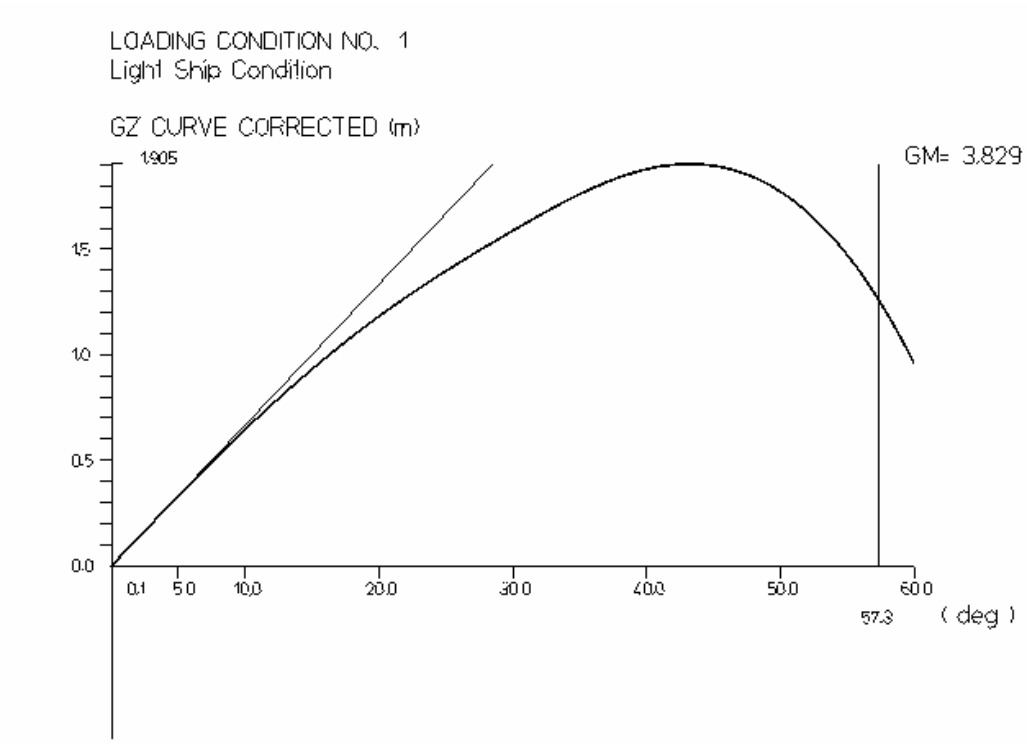
**Light Ship Condition**

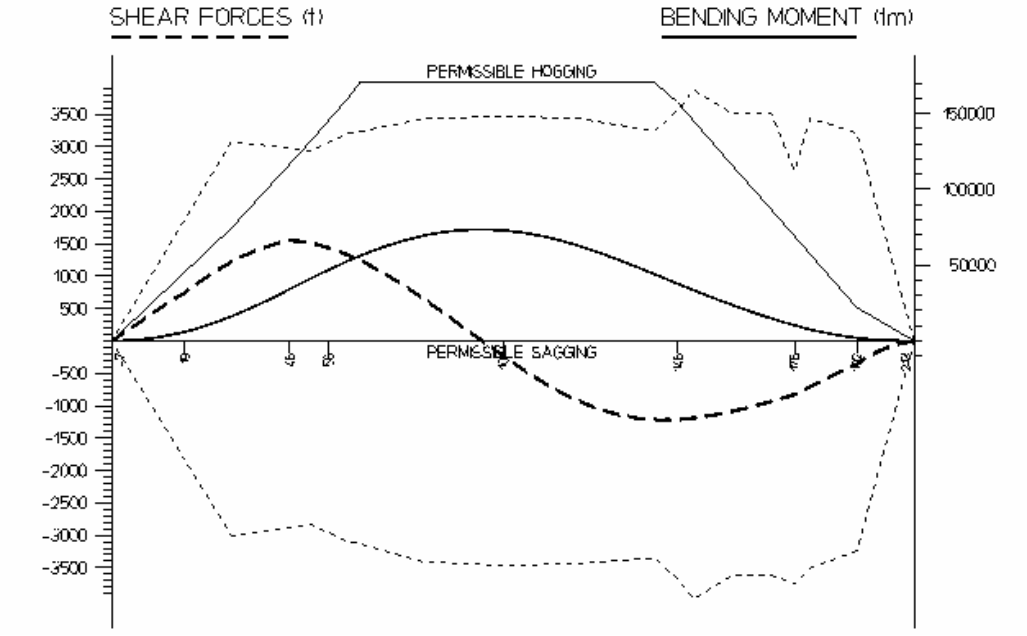
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

| NO | DIST | SHEAR FORCE | BENDING MOMENT | DRAFT |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -87.140 | 0.000 | 0.0 | 5.754 |
| 2 | -84.849 | 104.933 | 119.2 | 5.722 |
| 3 | -82.557 | 213.377 | 482.2 | 5.690 |
| 4 | -80.266 | 325.318 | 1097.1 | 5.658 |
| 5 | -77.974 | 439.535 | 1970.8 | 5.625 |
| 6 | -75.683 | 549.202 | 3102.5 | 5.593 |
| 7 | -73.391 | 650.391 | 4474.5 | 5.561 |
| 8 | -71.100 | 745.563 | 6070.5 | 5.529 |
| 9 | -68.550 | 878.762 | 8137.5 | 5.493 |
| 10 | -66.000 | 1003.084 | 10532.5 | 5.458 |
| 11 | -63.450 | 1116.795 | 13230.4 | 5.422 |
| 12 | -60.900 | 1218.964 | 16202.9 | 5.386 |
| 13 | -58.350 | 1309.228 | 19419.9 | 5.350 |
| 14 | -55.800 | 1387.472 | 22850.9 | 5.315 |
| 15 | -53.250 | 1453.792 | 26465.4 | 5.279 |
| 16 | -50.700 | 1508.425 | 30233.1 | 5.243 |
| 17 | -48.150 | 1551.751 | 34124.9 | 5.207 |
| 18 | -45.317 | 1530.722 | 38481.3 | 5.168 |
| 19 | -42.483 | 1492.177 | 42752.1 | 5.128 |
| 20 | -39.650 | 1437.153 | 46889.0 | 5.088 |
| 21 | -35.400 | 1326.583 | 52746.4 | 5.029 |
| 22 | -31.150 | 1185.900 | 58065.9 | 4.969 |
| 23 | -26.900 | 1019.573 | 62729.2 | 4.910 |
| 24 | -22.650 | 832.292 | 66637.0 | 4.850 |
| 25 | -18.400 | 629.004 | 69710.8 | 4.790 |
| 26 | -14.150 | 415.069 | 71893.6 | 4.731 |
| 27 | -9.900 | 196.451 | 73152.7 | 4.671 |
| 28 | -5.650 | -20.385 | 73481.8 | 4.612 |
| 29 | -1.400 | -228.752 | 72902.7 | 4.552 |
| 30 | 2.850 | -438.586 | 71432.1 | 4.493 |
| 31 | 7.100 | -631.684 | 69100.4 | 4.433 |
| 32 | 11.350 | -801.807 | 65992.7 | 4.373 |
| 33 | 15.600 | -945.127 | 62215.7 | 4.314 |
| 34 | 19.850 | -1059.657 | 57888.0 | 4.254 |
| 35 | 24.100 | -1144.347 | 53134.3 | 4.195 |
| 36 | 28.350 | -1198.490 | 48083.1 | 4.135 |
| 37 | 32.600 | -1221.710 | 42865.2 | 4.076 |
| 38 | 36.850 | -1214.076 | 37611.9 | 4.016 |
| 39 | 39.683 | -1194.974 | 34151.7 | 3.976 |
| 40 | 42.517 | -1168.488 | 30755.2 | 3.937 |
| 41 | 45.350 | -1135.096 | 27442.7 | 3.897 |
| 42 | 48.183 | -1095.346 | 24232.9 | 3.857 |
| 43 | 51.017 | -1049.861 | 21142.9 | 3.818 |
| 44 | 53.850 | -999.410 | 18188.0 | 3.778 |
| 45 | 56.683 | -944.925 | 15381.0 | 3.738 |
| 46 | 59.517 | -887.447 | 12731.8 | 3.698 |
| 47 | 62.350 | -828.058 | 10247.4 | 3.659 |
| 48 | 65.070 | -731.668 | 8073.4 | 3.621 |
| 49 | 67.790 | -635.175 | 6161.1 | 3.582 |
| 50 | 70.510 | -539.739 | 4509.1 | 3.544 |
| 51 | 73.230 | -446.585 | 3112.9 | 3.506 |
| 52 | 75.950 | -356.819 | 1964.8 | 3.468 |
| 53 | 78.470 | -241.668 | 1162.5 | 3.433 |
| 54 | 80.990 | -149.716 | 620.4 | 3.397 |
| 55 | 83.510 | -80.242 | 280.5 | 3.362 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 56 | 86.030 | -30.141 | 89.5 | 3.327 |
| 57 | 88.550 | 0.000 | 0.0 | 3.291 |

MAXIMUM SHEAR FORCE = 1551.751 ( 52.2%) AT A DISTANCE OF = -48.150
MAXIMUM BENDING MOMENT = 73490.1 ( 43.2%) AT A DISTANCE OF = -6.050



SEAKING HYDROSTATIC SYSTEM 2008-05-13 TIME 21.29

**LIVESTOCK CARRIER**
**CONDITION NO 2**
**==========**

**Ballast Condition 100% Consumables**

| WEIGHT ITEM | SPECIF: WEIGHT OR UNIT WEIGHT: | WEIGHT TON | LCG FROM L/2 M | VCG FROM BL M | TCG FROM CL M | FREE SURFACE: MOMENT TON*M | PERC. OF FILL. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | | | | | | |
| ======== | | | | | | | |
| After Peak Cooling FW | 1.0000 | 64.8 | -73.443 | 3.333 | -0.000 | | 100.00 |
| Crew | 1.0000 | 6.000 | 69.475 | 26.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Nonstructural Tanks | 1.0000 | 8.400 | -55.150 | 8.850 | 0.000 | | 0.00 |
| Water in Piping | 1.0000 | 14.5 | -8.900 | 2.300 | 0.000 | | 0.00 |
| Constant | | 93.7 | -52.649 | 5.119 | -0.000 | | |
| Provisions & Stores | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| Engine Store | 1.0000 | 6.000 | -50.700 | 9.500 | 0.000 | | 0.00 |
| Proviant | 1.0000 | 6.000 | 66.975 | 25.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Bossuns Store | 1.0000 | 8.000 | 81.775 | 16.200 | 0.000 | | 0.00 |
| Provisions & Stores | | 20.0 | 37.592 | 16.830 | 0.000 | | |
| Fuel Oil | | | | | | | |
| ======== | | | | | | | |
| Bunker Tank SB HFO | 0.9600 | 778.0 | -43.606 | 7.447 | 5.985 | | 98.00 |
| Bunker Tank PS HFO | 0.9600 | 793.0 | -43.652 | 7.467 | -5.920 | | 98.00 |
| HFO Daily Tk No1 | 0.9600 | 30.0 | -46.025 | 8.490 | 0.750 | | 98.00 |
| HFO Daily Tk LS | 0.9600 | 30.0 | -46.025 | 8.490 | 2.250 | | 98.00 |
| HFO Daily Tk No2 | 0.9600 | 18.8 | -75.574 | 10.983 | 9.579 | 7.38 | 97.64 |
| Fuel Oil | | 1649.9 | -44.080 | 7.535 | 0.141 | 7.38 | |
| Diesel Oil | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| DO Storage Tk SB | 0.8600 | 76.8 | -74.928 | 10.805 | 7.885 | | 98.00 |
| DO Service Tk AMSA | 0.8600 | 25.2 | -79.798 | 10.376 | 7.986 | | 98.00 |
| Diesel Oil | | 102.1 | -76.131 | 10.699 | 7.910 | | |
| Lubricating Oil | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| M.Eng.L.O.Storage Tk | 0.9000 | 18.0 | -68.547 | 10.410 | -10.289 | 10.14 | 97.76 |
| M.E.Cyl.Oil St.Tk | 0.9000 | 27.9 | -66.416 | 10.360 | -10.278 | 15.21 | 97.83 |
| A.Eng.L.Oil Drain Tk | 0.9000 | 6.300 | -69.825 | 7.401 | 0.000 | 1.72 | 96.59 |
| A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 0.9000 | 6.500 | -69.825 | 10.345 | -6.750 | 1.72 | 96.98 |
| M.Eng.L.O.Circ.Tk | 0.9000 | 14.1 | -55.375 | 1.085 | 0.000 | 7.67 | 97.24 |
| Lubricating Oil | | 72.8 | -65.404 | 8.319 | -7.086 | 36.46 | |
| Fresh Water | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| Fresh W.Tk SB | 1.0000 | 82.8 | -84.437 | 10.444 | 7.995 | 82.92 | 99.90 |
| Fresh W.Tk PS | 1.0000 | 82.8 | -84.437 | 10.444 | -7.995 | 82.92 | 99.90 |
| Fresh W Coll Tk Aft | 1.0000 | 24.0 | -58.550 | 7.806 | -7.614 | 61.64 | 78.87 |
| Feed Water Tk | 1.0000 | 7.000 | -63.755 | 8.008 | 6.548 | 29.70 | 59.19 |
| Fresh Water | | 196.6 | -80.541 | 10.035 | -0.696 | 257.19 | |
| Miscelaneous tanks | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| Bilge Water Coll.Tk | 1.0000 | 20.3 | -52.882 | 0.724 | 2.886 | 41.09 | 43.33 |
| Separators Sludge Tk | 1.0000 | 8.600 | -59.200 | 8.143 | -6.667 | 14.94 | 66.18 |
| Drain/Sludge Tk | 1.0000 | 4.300 | -74.358 | 7.493 | 0.000 | 4.05 | 35.40 |
| Holding Tank | 1.0000 | 7.800 | 64.210 | 11.326 | -6.931 | 84.03 | 14.09 |
| Miscelaneous tanks | | 41.0 | -34.184 | 5.007 | -1.288 | 144.11 | |

| Water Ballast | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DB Tk No2 C FW/WB | 1.025 | 744.6 | 17.242 | 1.096 | -0.000 | 100.00 |
| DB Tk No2 PS FW/WB | 1.025 | 297.4 | 13.119 | 1.342 | -7.914 | 100.00 |
| DB Tk No2 SB WB/FW | 1.025 | 297.4 | 13.119 | 1.342 | 7.914 | 100.00 |
| DB/Wing Tk No1 PS WB | 1.025 | 269.1 | 45.569 | 2.255 | -3.634 | 100.00 |
| DB/Wing Tk No1 SB WB | 1.025 | 269.1 | 45.569 | 2.255 | 3.634 | 100.00 |
| Deep Tank WB/Dung Holding | 1.025 | 433.5 | 65.264 | 6.722 | -0.039 | 100.00 |
| Fore Peak WB | 1.025 | 505.3 | 79.892 | 9.541 | -0.000 | 100.00 |
| Water Ballast | | 2816.4 | 40.416 | 3.751 | -0.006 | |
| TOTAL DEADWEIGHT | | 4992.4 | 1.433 | 5.546 | 0.064 | 445.13 |
| LIGHT SHIP | | 10751.0 | -6.345 | 12.930 | 0.000 | |
| TOTAL DISPLACEMENT | | 15743.4 | -3.879 | 10.588 | 0.020 | 445.13 |

| | |
|---|---|
| Draft aft | = 6.962 M |
| Draft amidship | = 6.154 M |
| Draft fore | = 5.347 M |
| Trim | = -1.615 M |
| Propeller immersion 113.93 % | |
| GM - metacentric height | = 4.270 M |
| GG'- free surface corection | = 0.028 M |
| G'M - corrected metacentrtic height | = 4.242 M |
| Angle of heel | = 0.272 DEG |

| angles of heel | 0.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KN | 0.026 | 1.298 | 2.602 | 5.292 | 7.826 | 9.863 | 11.044 | 11.494 |
| GZ uncorrected | 0.007 | 0.375 | 0.763 | 1.671 | 2.532 | 3.057 | 2.933 | 2.325 |
| GZ corr.real f.s | 0.007 | 0.364 | 0.751 | 1.657 | 2.518 | 3.044 | 2.921 | 2.314 |

POLUGA MOMENTA POMAKA STOKE

$$Z0° = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} = 0\ \text{m}$$

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = 0\ \text{m}$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

$$X0° = \frac{P \cdot A \cdot H}{D} = \frac{0,05 \cdot 3461,4 \cdot 13,3}{15743,4} = 0,1462\ \text{m};\quad X40° = 0,8 \cdot X0° = 0,117\ \text{m}$$

$$\text{Kut nagiba} = \frac{X}{GM} \cdot 57,3 = \frac{0,1462}{4,242} \cdot 57,3 = 1,975°$$

$$A_{MIN} = 0,018 + 0,2(A + B) = 0,018 + 0,2 \cdot 1,133 = 0,2446$$

STABILITY CRITERIA EVALUATION

| NO | DESCRIPTION | REQUIRED | ACTUAL |
|---|---|---|---|
| 1 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 30.0 DEGREES | 0.055 | 0.640 |
| 2 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 40.0 DEGREES | 0.090 | 1.133 |
| 3 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 30.0 TO 40.0 DEGREES | 0.030 | 0.493 |
| 4 | GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES | 0.200 | 2.518 |
| 5 | RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 25.0 DEGREES | | 43.200 |
| 6 | SLOPE OF GZC CURVE AT THE ANGLE 0.0 DEGREES | 2.239 | 4.242 |
| 7 | AMSA WEATHER CRITERIA | | |
| | STEADY HEEL ANGLE | <10.00° | 1.975° |
| | A (Prema Slika 43) | 0.2446 | <1.043 |

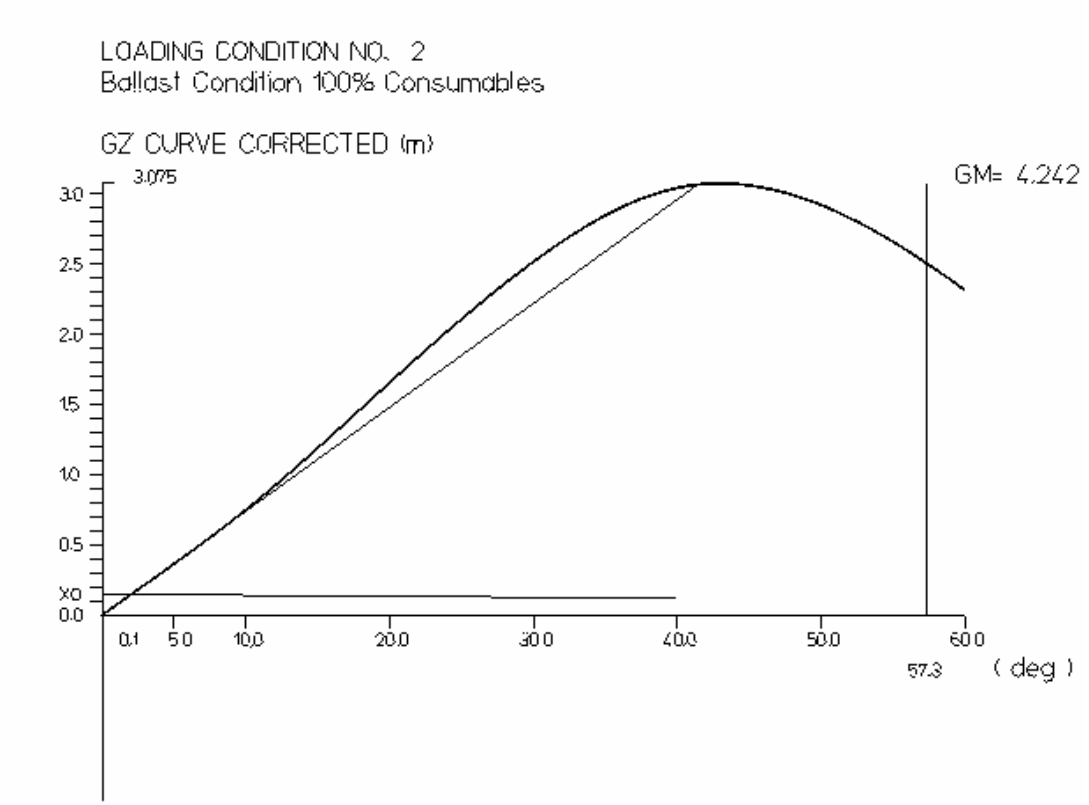
**Ballast Condition 100% Consumables**

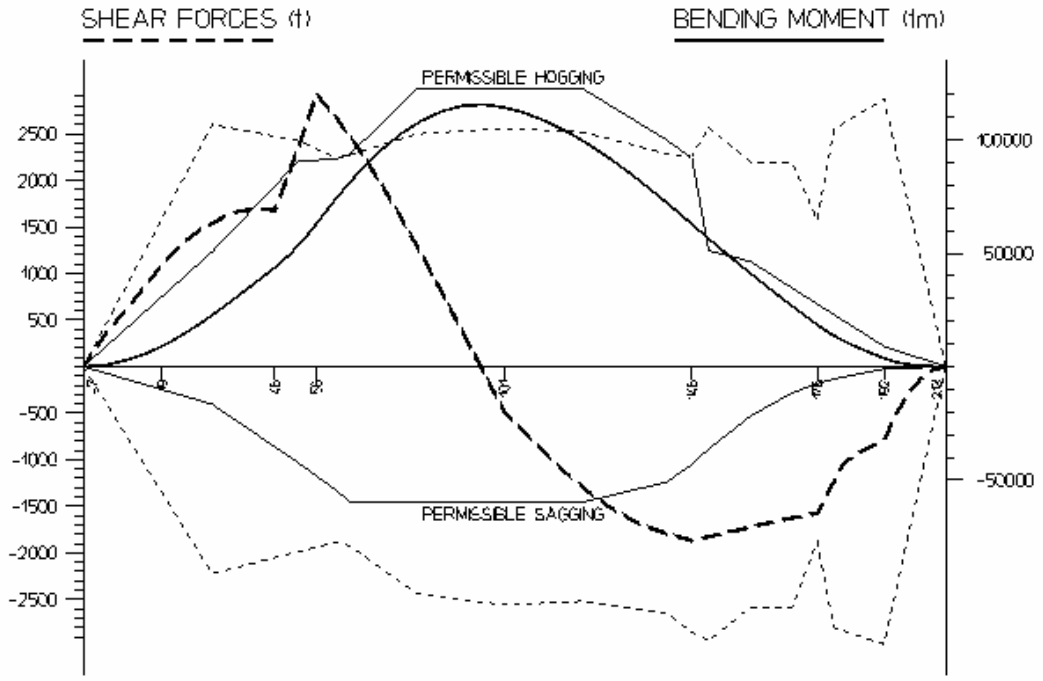
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

| NO | DIST | SHEAR FORCE | BENDING MOMENT | DRAFT |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -87.140 | 0.000 | 0.0 | 6.991 |
| 2 | -84.849 | 174.371 | 193.7 | 6.969 |
| 3 | -82.557 | 357.727 | 801.1 | 6.946 |
| 4 | -80.266 | 497.522 | 1790.2 | 6.924 |
| 5 | -77.974 | 639.842 | 3092.8 | 6.901 |
| 6 | -75.683 | 788.160 | 4723.3 | 6.879 |
| 7 | -73.391 | 944.671 | 6702.9 | 6.856 |
| 8 | -71.100 | 1090.801 | 9028.5 | 6.834 |
| 9 | -68.550 | 1232.426 | 11978.6 | 6.809 |
| 10 | -66.000 | 1364.753 | 15284.9 | 6.784 |
| 11 | -63.450 | 1465.984 | 18894.4 | 6.759 |
| 12 | -60.900 | 1537.924 | 22720.2 | 6.734 |
| 13 | -58.350 | 1611.246 | 26724.9 | 6.709 |
| 14 | -55.800 | 1663.253 | 30897.2 | 6.684 |
| 15 | -53.250 | 1684.790 | 35155.4 | 6.659 |
| 16 | -50.700 | 1690.980 | 39448.1 | 6.634 |
| 17 | -48.150 | 1677.748 | 43730.5 | 6.609 |
| 18 | -45.317 | 2070.710 | 49012.2 | 6.582 |
| 19 | -42.483 | 2485.503 | 55450.7 | 6.554 |
| 20 | -39.650 | 2923.663 | 63081.6 | 6.526 |
| 21 | -35.400 | 2655.424 | 74918.6 | 6.485 |
| 22 | -31.150 | 2344.331 | 85519.3 | 6.443 |
| 23 | -26.900 | 1996.605 | 94714.7 | 6.401 |
| 24 | -22.650 | 1618.678 | 102362.9 | 6.360 |
| 25 | -18.400 | 1217.133 | 108349.3 | 6.318 |
| 26 | -14.150 | 798.849 | 112588.1 | 6.277 |
| 27 | -9.900 | 371.210 | 115023.7 | 6.235 |
| 28 | -5.650 | -58.120 | 115632.4 | 6.193 |
| 29 | -1.400 | -481.611 | 114423.3 | 6.152 |
| 30 | 2.850 | -715.011 | 111818.0 | 6.110 |
| 31 | 7.100 | -941.212 | 108229.3 | 6.069 |
| 32 | 11.350 | -1151.063 | 103708.3 | 6.027 |
| 33 | 15.600 | -1338.514 | 98338.4 | 5.985 |
| 34 | 19.850 | -1499.736 | 92223.6 | 5.944 |
| 35 | 24.100 | -1632.431 | 85480.6 | 5.902 |
| 36 | 28.350 | -1735.053 | 78234.0 | 5.861 |
| 37 | 32.600 | -1806.193 | 70614.8 | 5.819 |
| 38 | 36.850 | -1865.828 | 62750.1 | 5.777 |
| 39 | 39.683 | -1832.986 | 57451.1 | 5.750 |
| 40 | 42.517 | -1799.270 | 52245.1 | 5.722 |
| 41 | 45.350 | -1764.882 | 47134.3 | 5.694 |
| 42 | 48.183 | -1730.145 | 42120.2 | 5.666 |
| 43 | 51.017 | -1695.512 | 37203.2 | 5.639 |
| 44 | 53.850 | -1661.650 | 32382.0 | 5.611 |
| 45 | 56.683 | -1629.466 | 27653.4 | 5.583 |
| 46 | 59.517 | -1600.152 | 23010.8 | 5.556 |
| 47 | 62.350 | -1575.132 | 18444.3 | 5.528 |
| 48 | 65.070 | -1301.579 | 14465.9 | 5.501 |
| 49 | 67.790 | -1038.194 | 11217.8 | 5.475 |
| 50 | 70.510 | -932.830 | 8505.2 | 5.448 |
| 51 | 73.230 | -861.895 | 5992.9 | 5.421 |
| 52 | 75.950 | -792.377 | 3670.8 | 5.395 |
| 53 | 78.470 | -503.282 | 1983.9 | 5.370 |
| 54 | 80.990 | -281.719 | 939.5 | 5.345 |
| 55 | 83.510 | -127.153 | 367.6 | 5.321 |
| 56 | 86.030 | -33.518 | 105.1 | 5.296 |
| 57 | 88.550 | 0.000 | 0.0 | 5.271 |

```
MAXIMUM SHEAR FORCE    =    2923.663 (125.0%) AT A DISTANCE OF = -39.650
MAXIMUM BENDING MOMENT =    115656.8 ( 94.5%) AT A DISTANCE OF =  -6.225
```

**Napomena:** Za ovo stanje krcanja nije zadovoljena uzdužna čvrstoća, tj. smične sile su veće nego što su to dozvoljene smične sile koje su pretpostavljenje. U ovom slučaju su smične sile na mjestu -39,65 m od LPP/2 25% veće od pretpostavljenih smičnih sila. Pretpostavljene smične sile uzete su prema Gradnji 428 [12]. Potrebno je, prilikom proračuna poprečnog presjeka broda, uzeti u obzir dane smične sile i momente savijanja te, gdje je to potrebno, povećati dimenzije poprečnog presjeka.


LOADING CONDITION NO. 2
Ballast Condition 100% Consumables
GZ CURVE CORRECTED (m)
3.075
GM= 4.242
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
XO
0.0
0.1
5.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
57.3
( deg )


SHEAR FORCES (t)
BENDING MOMENT (tm)
PERMISSIBLE HOGGING
PERMISSIBLE SAGGING
2500
2000
1500
1000
500
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
100000
50000
-50000

SEAKING HYDROSTATIC SYSTEM 2008-05-13 TIME 21.29

**LIVESTOCK CARRIER**
**CONDITION NO 3**
==========

**Ballast Condition 10% Consumables**

| WEIGHT ITEM | SPECIF: WEIGHT OR UNIT WEIGHT: | WEIGHT TON | LCG FROM L/2 M | VCG FROM BL M | TCG FROM CL M | FREE SURFACE MOMENT TON*M | PERC. OF FILL. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Constant** | | | | | | | |
| After Peak Cooling FW | 1.0000 | 64.8 | -73.443 | 3.333 | -0.000 | | 100.00 |
| Crew | 1.0000 | 6.000 | 69.475 | 26.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Nonstructural Tanks | 1.0000 | 8.400 | -55.150 | 8.850 | 0.000 | | 0.00 |
| Water in Piping | 1.0000 | 14.5 | -8.900 | 2.300 | 0.000 | | 0.00 |
| Constant | | 93.7 | -52.649 | 5.119 | -0.000 | | |
| **Provisions & Stores** | | | | | | | |
| Engine Store | 0.1000 | 0.600 | -50.700 | 9.500 | 0.000 | | 0.00 |
| Proviant | 0.1000 | 0.600 | 66.975 | 25.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Bossuns Store | 0.1000 | 0.800 | 81.775 | 16.200 | 0.000 | | 0.00 |
| Provisions & Stores | | 2.000 | 37.592 | 16.830 | 0.000 | | |
| **Fuel Oil** | | | | | | | |
| Bunker Tank SB HFO | 0.9600 | 80.0 | -43.655 | 2.726 | 3.510 | 2092.86 | 10.08 |
| Bunker Tank PS HFO | 0.9600 | 80.0 | -43.655 | 2.726 | -3.510 | 2092.86 | 9.89 |
| HFO Daily Tk No1 | 0.9600 | 29.9 | -46.025 | 8.481 | 0.750 | 1.15 | 97.64 |
| HFO Daily Tk LS | 0.9600 | 29.9 | -46.025 | 8.481 | 2.250 | 1.15 | 97.64 |
| HFO Daily Tk No2 | 0.9600 | 18.8 | -75.574 | 10.983 | 9.579 | 7.38 | 97.64 |
| Fuel Oil | | 238.6 | -46.764 | 4.819 | 1.131 | 4195.39 | |
| **Diesel Oil** | | | | | | | |
| DO Storage Tk SB | 0.8600 | 7.000 | -74.482 | 9.690 | 6.386 | 109.07 | 8.93 |
| DO Service Tk AMSA | 0.8600 | 7.000 | -79.794 | 9.311 | 7.559 | 25.17 | 27.21 |
| Diesel Oil | | 14.0 | -77.138 | 9.500 | 6.973 | 134.24 | |
| **Lubricating Oil** | | | | | | | |
| M.Eng.L.O.Storage Tk | 0.9000 | 3.000 | -68.531 | 9.196 | -9.741 | 10.14 | 16.29 |
| M.E.Cyl.Oil St.Tk | 0.9000 | 3.400 | -66.356 | 8.999 | -9.466 | 15.21 | 11.92 |
| A.Eng.L.Oil Drain Tk | 0.9000 | 1.000 | -69.825 | 6.225 | 0.000 | 1.72 | 15.33 |
| A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 0.9000 | 0.900 | -69.825 | 9.100 | -6.750 | 1.72 | 13.43 |
| M.Eng.L.O.Circ.Tk | 0.9000 | 14.1 | -55.375 | 1.085 | 0.000 | 7.67 | 97.24 |
| Renovating L.Oil Tk | 0.9000 | 16.3 | -65.181 | 0.458 | -0.000 | 76.59 | 31.31 |
| Lubricating Oil | | 38.7 | -62.199 | 2.464 | -1.744 | 113.05 | |
| **Fresh Water** | | | | | | | |
| Fresh W.Tk SB | 1.0000 | 10.0 | -84.356 | 9.116 | 6.958 | 82.92 | 12.07 |
| Fresh W.Tk PS | 1.0000 | 10.0 | -84.356 | 9.116 | -6.958 | 82.92 | 12.07 |
| Fresh W Coll Tk Aft | 1.0000 | 24.0 | -58.550 | 7.806 | -7.614 | 61.64 | 78.87 |
| Feed Water Tk | 1.0000 | 7.000 | -63.755 | 8.008 | 6.548 | 29.70 | 59.19 |
| Fresh Water | | 51.0 | -69.384 | 8.347 | -2.684 | 257.19 | |
| **Miscelaneous tanks** | | | | | | | |
| Bilge Water Coll.Tk | 1.0000 | 20.3 | -52.882 | 0.724 | 2.886 | 41.09 | 43.33 |
| Separators Sludge Tk | 1.0000 | 8.600 | -59.200 | 8.143 | -6.667 | 14.94 | 66.18 |
| Drain/Sludge Tk | 1.0000 | 4.300 | -74.358 | 7.493 | 0.000 | 4.05 | 35.40 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Holding Tank | 1.0000 | 7.800 | 64.210 | 11.326 | -6.931 | 84.03 | 14.09 |
| Miscelaneous tanks | | 41.0 | -34.184 | 5.007 | -1.288 | 144.11 | |
| **Water Ballast** | | | | | | | |
| DB Tk No3 C FW | 1.025 | 750.7 | -20.099 | 1.094 | -0.000 | | 100.00 |
| DB Tk No3 PS FW/WB | 1.025 | 358.0 | -17.476 | 1.341 | -8.189 | | 100.00 |
| DB Tk No3 SB FW/WB | 1.025 | 358.0 | -17.476 | 1.341 | 8.189 | | 100.00 |
| DB Tk No2 C FW/WB | 1.025 | 744.6 | 17.242 | 1.096 | -0.000 | | 100.00 |
| DB Tk No2 PS FW/WB | 1.025 | 297.4 | 13.119 | 1.342 | -7.914 | | 100.00 |
| DB Tk No2 SB WB/FW | 1.025 | 297.4 | 13.119 | 1.342 | 7.914 | | 100.00 |
| DB/Wing Tk No1 PS WB | 1.025 | 269.1 | 45.569 | 2.255 | -3.634 | | 100.00 |
| DB/Wing Tk No1 SB WB | 1.025 | 269.1 | 45.569 | 2.255 | 3.634 | | 100.00 |
| Deep Tank WB/Dung Holding | 1.025 | 433.5 | 65.264 | 6.722 | -0.039 | | 100.00 |
| Water Ballast | | 3777.8 | 12.139 | 1.991 | -0.004 | | 100.00 |
| TOTAL DEADWEIGHT | | 4256.8 | 5.031 | 2.360 | 0.022 | 4843.97 | |
| LIGHT SHIP | | 10751.0 | -6.345 | 12.930 | 0.000 | | |
| TOTAL DISPLACEMENT | | 15007.8 | -3.118 | 9.932 | 0.006 | 4843.97 | |

| | | |
|---|---|---|
| Draft aft | = | 6.467 M |
| Draft amidship | = | 5.932 M |
| Draft fore | = | 5.397 M |
| Trim | = | -1.070 M |
| Propeller immersion 105.58 % | | |
| GM - metacentric height | = | 5.060 M |
| GG'- free surface corection | = | 0.323 M |
| G'M - corrected metacentrtic height | = | 4.737 M |
| Angle of heel | = | 0.075 DEG |

| angles of heel | 0.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KN | 0.026 | 1.309 | 2.617 | 5.282 | 7.813 | 9.900 | 11.130 | 11.592 |
| GZ uncorrected | 0.009 | 0.443 | 0.892 | 1.885 | 2.847 | 3.516 | 3.522 | 2.991 |
| GZ corr.real f.s | 0.009 | 0.437 | 0.880 | 1.861 | 2.813 | 3.469 | 3.458 | 2.920 |

POLUGA MOMENTA POMAKA STOKE

$$Z0° = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} = 0\ \text{m}$$

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = 0\ \text{m}$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

$$X0° = \frac{P \cdot A \cdot H}{D} = \frac{0,05 \cdot 3492,4 \cdot 13,3}{15007,8} = 0,1547\ \text{m};\quad X40° = 0,8 \cdot X0° = 0,1238\ \text{m}$$

$$\text{Kut nagiba} = \frac{X}{GM} \cdot 57,3 = \frac{0,1547}{4,737} \cdot 57,3 = 1,871°$$

$$A_{MIN} = 0,018 + 0,2(A + B) = 0,018 + 0,2 \cdot 1,280 = 0,274$$

STABILITY CRITERIA EVALUATION

| NO | DESCRIPTION | REQUIRED | ACTUAL |
|---|---|---|---|
| 1 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 30.0 DEGREES | 0.055 | 0.724 |
| 2 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 40.0 DEGREES | 0.090 | 1.280 |
| 3 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 30.0 TO 40.0 DEGREES | 0.030 | 0.556 |
| 4 | GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES | 0.200 | 2.813 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 25.0 DEGREES | | 44.400 |
| 6 | SLOPE OF GZC CURVE AT THE ANGLE 0.0 DEGREES | 2.416 | 4.737 |
| 7 | AMSA WEATHER CRITERIA | | |
| | STEADY HEEL ANGLE | <10.00° | 1.871° |
| | A (Prema Slika 43) | 0.274 | <1.185 |

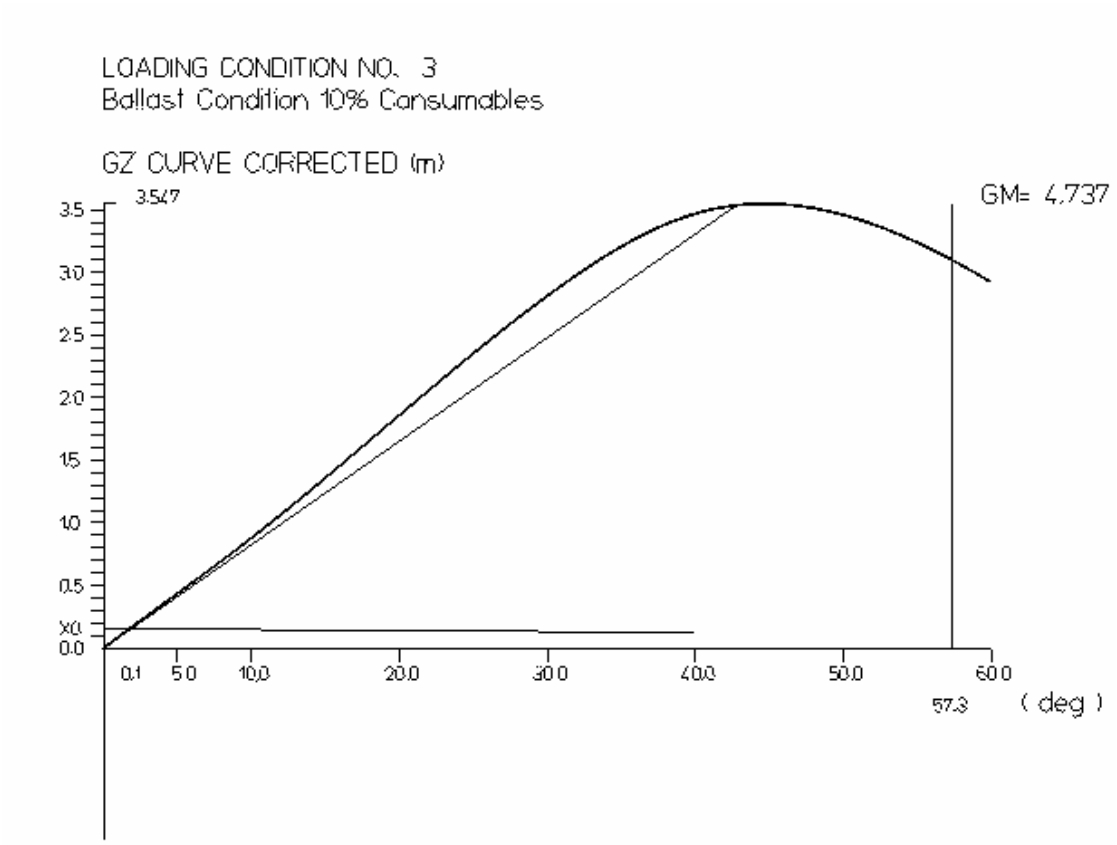
**Ballast Condition 10% Consumables**

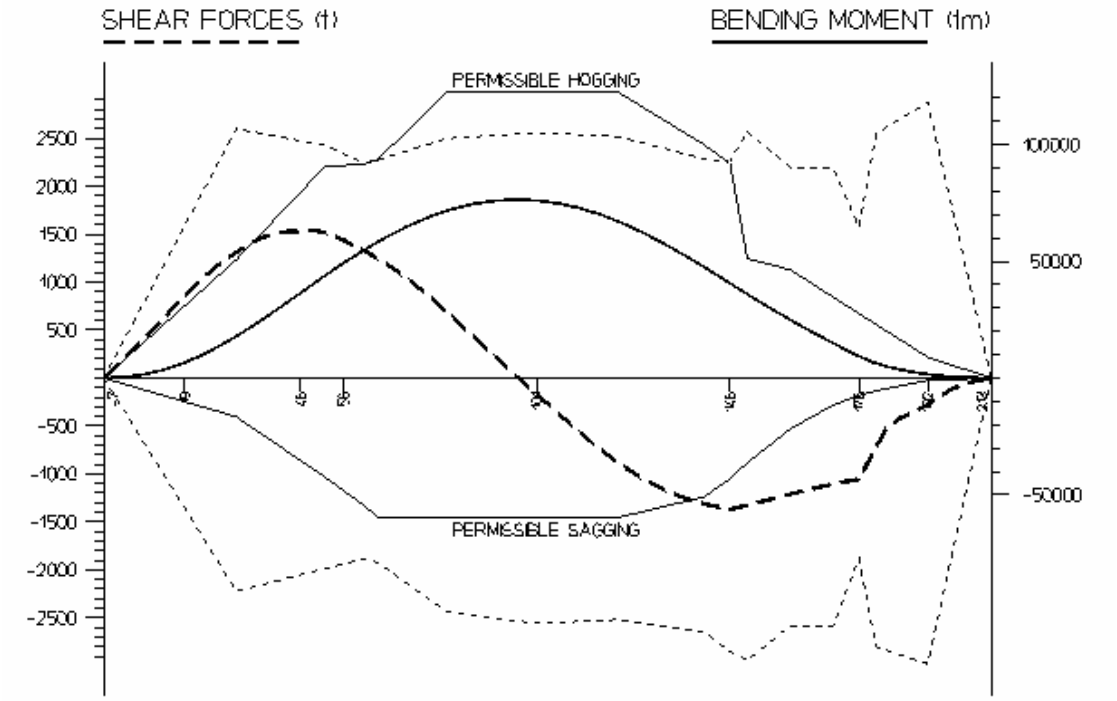
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

| NO | DIST | SHEAR FORCE | BENDING MOMENT | DRAFT |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -87.140 | 0.000 | 0.0 | 6.481 |
| 2 | -84.849 | 113.039 | 127.7 | 6.466 |
| 3 | -82.557 | 230.977 | 519.8 | 6.451 |
| 4 | -80.266 | 347.623 | 1180.8 | 6.436 |
| 5 | -77.974 | 468.042 | 2114.2 | 6.422 |
| 6 | -75.683 | 596.474 | 3328.4 | 6.407 |
| 7 | -73.391 | 733.977 | 4847.1 | 6.392 |
| 8 | -71.100 | 862.432 | 6669.7 | 6.377 |
| 9 | -68.550 | 992.481 | 9028.0 | 6.360 |
| 10 | -66.000 | 1113.368 | 11708.2 | 6.344 |
| 11 | -63.450 | 1222.089 | 14679.3 | 6.327 |
| 12 | -60.900 | 1310.472 | 17906.1 | 6.311 |
| 13 | -58.350 | 1397.698 | 21348.9 | 6.294 |
| 14 | -55.800 | 1465.369 | 24997.2 | 6.278 |
| 15 | -53.250 | 1503.655 | 28773.1 | 6.261 |
| 16 | -50.700 | 1526.462 | 32625.9 | 6.245 |
| 17 | -48.150 | 1530.250 | 36511.5 | 6.228 |
| 18 | -45.317 | 1536.713 | 40843.0 | 6.210 |
| 19 | -42.483 | 1505.564 | 45152.1 | 6.191 |
| 20 | -39.650 | 1438.089 | 49305.8 | 6.173 |
| 21 | -35.400 | 1322.870 | 55124.1 | 6.146 |
| 22 | -31.150 | 1191.011 | 60441.6 | 6.118 |
| 23 | -26.900 | 1031.051 | 65134.2 | 6.090 |
| 24 | -22.650 | 848.869 | 69094.9 | 6.063 |
| 25 | -18.400 | 650.591 | 72242.1 | 6.035 |
| 26 | -14.150 | 442.726 | 74521.0 | 6.008 |
| 27 | -9.900 | 232.337 | 75905.7 | 5.980 |
| 28 | -5.650 | 26.880 | 76401.3 | 5.953 |
| 29 | -1.400 | -166.184 | 76044.6 | 5.925 |
| 30 | 2.850 | -369.784 | 74848.0 | 5.898 |
| 31 | 7.100 | -568.339 | 72790.3 | 5.870 |
| 32 | 11.350 | -753.022 | 69912.9 | 5.843 |
| 33 | 15.600 | -917.948 | 66288.1 | 5.815 |
| 34 | 19.850 | -1059.331 | 62008.6 | 5.787 |
| 35 | 24.100 | -1174.814 | 57179.8 | 5.760 |
| 36 | 28.350 | -1262.723 | 51915.5 | 5.732 |
| 37 | 32.600 | -1321.515 | 46336.1 | 5.705 |
| 38 | 36.850 | -1371.026 | 40559.2 | 5.677 |
| 39 | 39.683 | -1332.596 | 36674.1 | 5.659 |
| 40 | 42.517 | -1294.150 | 32896.6 | 5.640 |
| 41 | 45.350 | -1255.830 | 29226.8 | 5.622 |
| 42 | 48.183 | -1217.897 | 25663.8 | 5.604 |
| 43 | 51.017 | -1180.737 | 22206.0 | 5.585 |
| 44 | 53.850 | -1144.944 | 18850.5 | 5.567 |
| 45 | 56.683 | -1111.361 | 15592.3 | 5.549 |
| 46 | 59.517 | -1081.107 | 12423.6 | 5.530 |
| 47 | 62.350 | -1055.513 | 9333.1 | 5.512 |
| 48 | 65.070 | -783.582 | 6770.3 | 5.494 |
| 49 | 67.790 | -521.603 | 4933.7 | 5.477 |
| 50 | 70.510 | -417.380 | 3629.2 | 5.459 |
| 51 | 73.230 | -347.276 | 2522.4 | 5.441 |
| 52 | 75.950 | -278.256 | 1604.1 | 5.424 |

```
 53   78.470    -182.246       964.6    5.407
 54   80.990    -109.158       537.4    5.391
 55   83.510     -58.454       264.7    5.375
 56   86.030     -23.964        96.1    5.358
 57   88.550       0.000         0.0    5.342


MAXIMUM SHEAR FORCE    =    1536.713 ( 62.9%) AT A DISTANCE OF = -45.317
MAXIMUM BENDING MOMENT =     76401.3 ( 62.5%) AT A DISTANCE OF =  -5.058
```


LOADING CONDITION NO. 3
Ballast Condition 10% Consumables
GZ CURVE CORRECTED (m)
3.547
GM= 4.737
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
X0
0.0
0.1
5.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
57.3
( deg )


SHEAR FORCES (t)
BENDING MOMENT (tm)
PERMISSIBLE HOGGING
PERMISSIBLE SAGGING
2500
2000
1500
1000
500
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
100000
50000
-50000

SEAKING HYDROSTATIC SYSTEM 2008-05-13 TIME 21.29

**LIVESTOCK CARRIER**
**CONDITION NO 4**
**==========**

**Docking Condition 10% Consumables**

| WEIGHT ITEM | SPECIF: WEIGHT OR UNIT | WEIGHT | LCG FROM L/2 | VCG FROM BL | TCG FROM CL | FREE SURFACE MOMENT | PERC. OF FILL. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | WEIGHT: | TON | M | M | M | TON*M | |
| **Constant** | | | | | | | |
| After Peak Cooling FW | 1.0000 | 64.8 | -73.443 | 3.333 | -0.000 | | 100.00 |
| Crew | 1.0000 | 6.000 | 69.475 | 26.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Nonstructural Tanks | 1.0000 | 8.400 | -55.150 | 8.850 | 0.000 | | 0.00 |
| Water in Piping | 1.0000 | 14.5 | -8.900 | 2.300 | 0.000 | | 0.00 |
| Constant | | 93.7 | -52.649 | 5.119 | -0.000 | | |
| **Provisions & Stores** | | | | | | | |
| Engine Store | 0.1000 | 0.600 | -50.700 | 9.500 | 0.000 | | 0.00 |
| Proviant | 0.1000 | 0.600 | 66.975 | 25.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Bossuns Store | 0.1000 | 0.800 | 81.775 | 16.200 | 0.000 | | 0.00 |
| Provisions & Stores | | 2.000 | 37.592 | 16.830 | 0.000 | | |
| **Fuel Oil** | | | | | | | |
| Bunker Tank SB HFO | 0.9600 | 80.0 | -43.655 | 2.726 | 3.510 | 2092.86 | 10.08 |
| Bunker Tank PS HFO | 0.9600 | 80.0 | -43.655 | 2.726 | -3.510 | 2092.86 | 9.89 |
| HFO Daily Tk No1 | 0.9600 | 29.9 | -46.025 | 8.481 | 0.750 | 1.15 | 97.64 |
| HFO Daily Tk LS | 0.9600 | 29.9 | -46.025 | 8.481 | 2.250 | 1.15 | 97.64 |
| HFO Daily Tk No2 | 0.9600 | 18.8 | -75.574 | 10.983 | 9.579 | 7.38 | 97.64 |
| Fuel Oil | | 238.6 | -46.764 | 4.819 | 1.131 | 4195.39 | |
| **Diesel Oil** | | | | | | | |
| DO Storage Tk SB | 0.8600 | 7.000 | -74.482 | 9.690 | 6.386 | 109.07 | 8.93 |
| DO Service Tk AMSA | 0.8600 | 7.000 | -79.794 | 9.311 | 7.559 | 25.17 | 27.21 |
| Diesel Oil | | 14.0 | -77.138 | 9.500 | 6.973 | 134.24 | |
| **Lubricating Oil** | | | | | | | |
| M.Eng.L.O.Storage Tk | 0.9000 | 3.000 | -68.531 | 9.196 | -9.741 | 10.14 | 16.29 |
| M.E.Cyl.Oil St.Tk | 0.9000 | 3.400 | -66.356 | 8.999 | -9.466 | 15.21 | 11.92 |
| A.Eng.L.Oil Drain Tk | 0.9000 | 1.000 | -69.825 | 6.225 | 0.000 | 1.72 | 15.33 |
| A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 0.9000 | 0.900 | -69.825 | 9.100 | -6.750 | 1.72 | 13.43 |
| M.Eng.L.O.Circ.Tk | 0.9000 | 14.1 | -55.375 | 1.085 | 0.000 | 7.67 | 97.24 |
| Renovating L.Oil Tk | 0.9000 | 16.3 | -65.181 | 0.458 | -0.000 | 76.59 | 31.31 |
| Lubricating Oil | | 38.7 | -62.199 | 2.464 | -1.744 | 113.05 | |
| **Fresh Water** | | | | | | | |
| Fresh W.Tk SB | 1.0000 | 10.0 | -84.356 | 9.116 | 6.958 | 82.92 | 12.07 |
| Fresh W.Tk PS | 1.0000 | 10.0 | -84.356 | 9.116 | -6.958 | 82.92 | 12.07 |
| Fresh W Coll Tk Aft | 1.0000 | 24.0 | -58.550 | 7.806 | -7.614 | 61.64 | 78.87 |
| Feed Water Tk | 1.0000 | 7.000 | -63.755 | 8.008 | 6.548 | 29.70 | 59.19 |
| Fresh Water | | 51.0 | -69.384 | 8.347 | -2.684 | 257.19 | |
| **Miscelaneous tanks** | | | | | | | |
| Bilge Water Coll.Tk | 1.0000 | 20.3 | -52.882 | 0.724 | 2.886 | 41.09 | 43.33 |
| Separators Sludge Tk | 1.0000 | 8.600 | -59.200 | 8.143 | -6.667 | 14.94 | 66.18 |
| Drain/Sludge Tk | 1.0000 | 4.300 | -74.358 | 7.493 | 0.000 | 4.05 | 35.40 |
| Holding Tank | 1.0000 | 7.800 | 64.210 | 11.326 | -6.931 | 84.03 | 14.09 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Miscelaneous tanks | | 41.0 | -34.184 | 5.007 | -1.288 | 144.11 |
| **Water Ballast** | | | | | | |
| Deep Tank WB/Dung Holding | 1.025 | 433.5 | 65.264 | 6.722 | -0.039 | 100.00 |
| Fore Peak WB | 1.025 | 505.3 | 79.892 | 9.541 | -0.000 | 100.00 |
| Water Ballast | | 938.8 | 73.138 | 8.239 | -0.018 | |
| TOTAL DEADWEIGHT | | 1417.8 | 31.187 | 7.235 | 0.066 | 4843.97 |
| LIGHT SHIP | | 10751.0 | -6.345 | 12.930 | 0.000 | |
| TOTAL DISPLACEMENT | | 12168.8 | -1.972 | 12.266 | 0.008 | 4843.97 |

| | |
|---|---|
| Draft aft | = 5.114 M |
| Draft amidship | = 5.031 M |
| Draft fore | = 4.948 M |
| Trim | = -0.166 M |
| Propeller immersion 82.53 % | |
| GM - metacentric height | = 3.662 M |
| GG'- free surface corection | = 0.398 M |
| G'M - corrected metacentrtic height | = 3.264 M |
| Angle of heel | = 0.135 DEG |

| angles of heel | 0.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KN | 0.028 | 1.388 | 2.758 | 5.397 | 7.844 | 10.009 | 11.447 | 11.960 |
| GZ uncorrected | 0.006 | 0.319 | 0.628 | 1.201 | 1.710 | 2.124 | 2.050 | 1.337 |
| GZ corr.real f.s | 0.006 | 0.312 | 0.614 | 1.172 | 1.668 | 2.066 | 1.972 | 1.249 |

POLUGA MOMENTA POMAKA STOKE

$$Z0° = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} = 0\ \text{m}$$

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = 0\ \text{m}$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

$$X0° = \frac{P \cdot A \cdot H}{D} = \frac{0,05 \cdot 3648,4 \cdot 13,3}{12168,8} = 0,1994\ \text{m};\quad X40° = 0,8 \cdot X0° = 0,1595\ \text{m}$$

$$\text{Kut nagiba} = \frac{X}{GM} \cdot 57,3 = \frac{0,1994}{3,264} \cdot 57,3 = 3,5°$$

$$A_{MIN} = 0,018 + 0,2(A + B) = 0,018 + 0,2 \cdot 0,789 = 0,1758$$

STABILITY CRITERIA EVALUATION

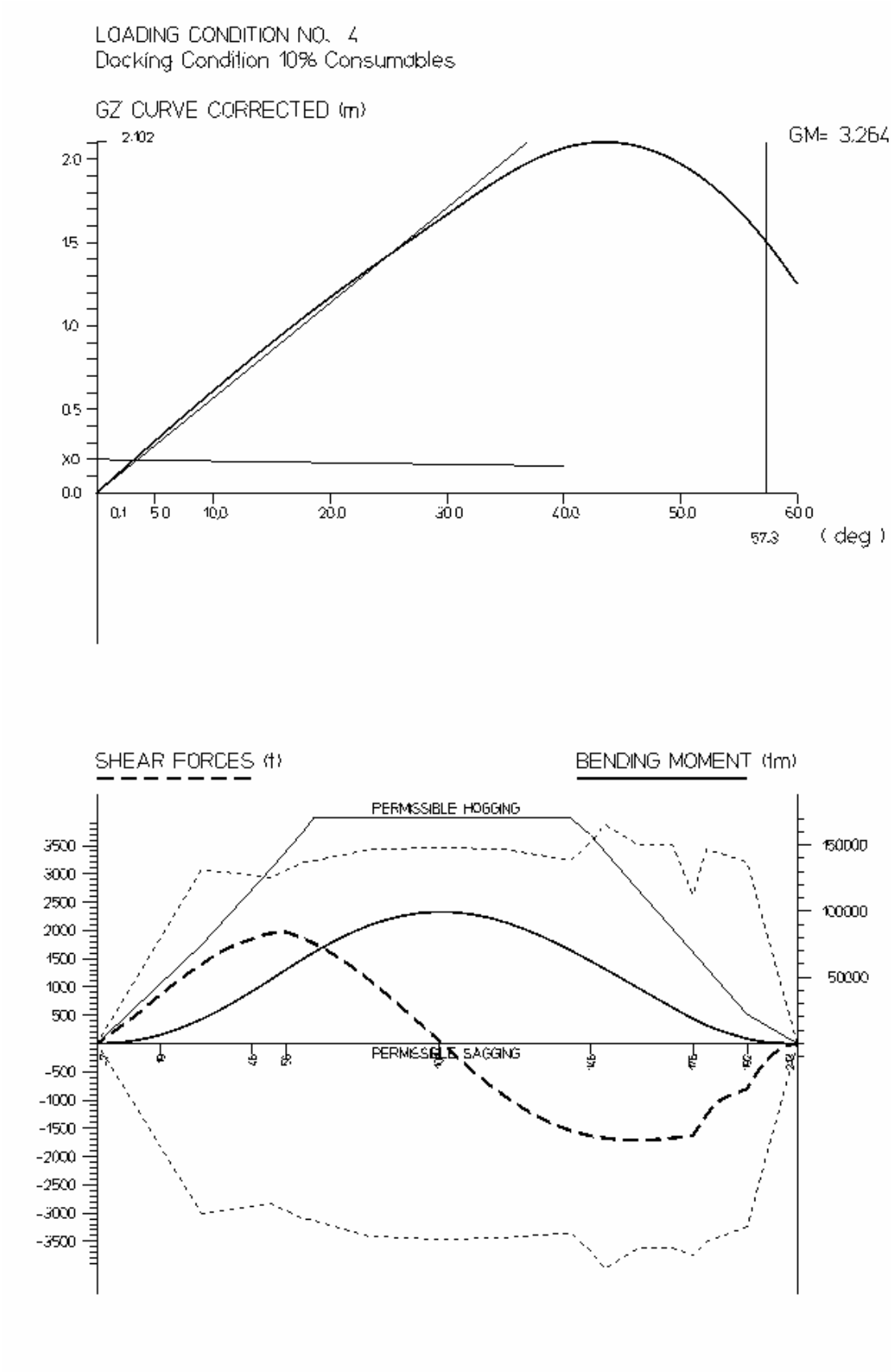
| NO | DESCRIPTION | REQUIRED | ACTUAL |
|---|---|---|---|
| 1 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 30.0 DEGREES | 0.055 | 0.459 |
| 2 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 40.0 DEGREES | 0.090 | 0.789 |
| 3 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 30.0 TO 40.0 DEGREES | 0.030 | 0.330 |
| 4 | GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES | 0.200 | 1.668 |
| 5 | RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 25.0 DEGREES | | 43.200 |
| 6 | SLOPE OF GZC CURVE AT THE ANGLE 0.0 DEGREES | 3.134 | 3.264 |
| 7 | AMSA WEATHER CRITERIA | | |
| | STEADY HEEL ANGLE | <10.00° | 3.500° |
| | A (Prema Slika 43) | 0.176 | <0.668 |

**Docking Condition 10% Consumables**

LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

| NO | DIST | SHEAR FORCE | BENDING MOMENT | DRAFT |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -87.140 | 0.000 | 0.0 | 5.103 |
| 2 | -84.849 | 113.120 | 127.9 | 5.100 |
| 3 | -82.557 | 231.139 | 520.5 | 5.098 |
| 4 | -80.266 | 347.867 | 1182.3 | 5.096 |
| 5 | -77.974 | 468.405 | 2116.9 | 5.093 |
| 6 | -75.683 | 597.576 | 3333.3 | 5.091 |
| 7 | -73.391 | 738.020 | 4858.1 | 5.089 |
| 8 | -71.100 | 872.845 | 6697.6 | 5.087 |
| 9 | -68.550 | 1014.642 | 9097.6 | 5.084 |
| 10 | -66.000 | 1152.802 | 11856.6 | 5.081 |
| 11 | -63.450 | 1284.673 | 14958.1 | 5.079 |
| 12 | -60.900 | 1402.183 | 18382.2 | 5.076 |
| 13 | -58.350 | 1524.384 | 22104.3 | 5.074 |
| 14 | -55.800 | 1632.626 | 26128.4 | 5.071 |
| 15 | -53.250 | 1716.782 | 30390.7 | 5.069 |
| 16 | -50.700 | 1790.449 | 34853.4 | 5.066 |
| 17 | -48.150 | 1849.751 | 39484.8 | 5.063 |
| 18 | -45.317 | 1922.885 | 44818.1 | 5.061 |
| 19 | -42.483 | 1963.124 | 50325.0 | 5.058 |
| 20 | -39.650 | 1971.158 | 55884.9 | 5.055 |
| 21 | -35.400 | 1861.550 | 64016.4 | 5.051 |
| 22 | -31.150 | 1715.701 | 71601.5 | 5.046 |
| 23 | -26.900 | 1537.302 | 78494.0 | 5.042 |
| 24 | -22.650 | 1330.495 | 84564.1 | 5.038 |
| 25 | -18.400 | 1099.888 | 89700.7 | 5.034 |
| 26 | -14.150 | 850.703 | 93813.5 | 5.029 |
| 27 | -9.900 | 588.922 | 96835.9 | 5.025 |
| 28 | -5.650 | 321.128 | 98728.3 | 5.021 |
| 29 | -1.400 | 54.248 | 99479.8 | 5.016 |
| 30 | 2.850 | -221.114 | 99076.1 | 5.012 |
| 31 | 7.100 | -485.708 | 97519.5 | 5.008 |
| 32 | 11.350 | -732.064 | 94872.8 | 5.004 |
| 33 | 15.600 | -955.110 | 91224.9 | 4.999 |
| 34 | 19.850 | -1151.605 | 86682.3 | 4.995 |
| 35 | 24.100 | -1319.461 | 81362.6 | 4.991 |
| 36 | 28.350 | -1456.991 | 75391.1 | 4.987 |
| 37 | 32.600 | -1562.661 | 68900.0 | 4.982 |
| 38 | 36.850 | -1635.332 | 62027.4 | 4.978 |
| 39 | 39.683 | -1668.038 | 57300.8 | 4.975 |
| 40 | 42.517 | -1691.509 | 52493.7 | 4.972 |
| 41 | 45.350 | -1705.845 | 47632.0 | 4.969 |
| 42 | 48.183 | -1711.244 | 42741.4 | 4.967 |
| 43 | 51.017 | -1708.022 | 37846.8 | 4.964 |
| 44 | 53.850 | -1696.670 | 32971.9 | 4.961 |
| 45 | 56.683 | -1677.896 | 28139.0 | 4.958 |
| 46 | 59.517 | -1652.639 | 23367.6 | 4.955 |
| 47 | 62.350 | -1622.013 | 18674.8 | 4.952 |
| 48 | 65.070 | -1338.422 | 14599.3 | 4.950 |
| 49 | 67.790 | -1066.663 | 11279.4 | 4.947 |
| 50 | 70.510 | -954.271 | 8516.2 | 4.944 |
| 51 | 73.230 | -877.314 | 5971.2 | 4.941 |
| 52 | 75.950 | -802.427 | 3632.1 | 4.939 |
| 53 | 78.470 | -510.453 | 1940.0 | 4.936 |
| 54 | 80.990 | -286.206 | 897.7 | 4.934 |
| 55 | 83.510 | -129.091 | 334.7 | 4.931 |
| 56 | 86.030 | -33.625 | 87.3 | 4.929 |
| 57 | 88.550 | 0.000 | 0.0 | 4.926 |

MAXIMUM SHEAR FORCE = 1971.158 ( 64.4%) AT A DISTANCE OF = -39.650
MAXIMUM BENDING MOMENT = 99492.8 ( 58.4%) AT A DISTANCE OF = -0.563


LOADING CONDITION NO. 4
Docking Condition 10% Consumables
GZ CURVE CORRECTED (m)
2.102
GM= 3.264
2.0
1.5
1.0
0.5
X0
0.0
0.1
5.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
57.3
( deg )
SHEAR FORCES (t)
BENDING MOMENT (tm)
PERMISSIBLE HOGGING
PERMISSIBLE SAGGING
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-3000
-3500
150000
100000
50000

SEAKING HYDROSTATIC SYSTEM 2008-05-13 TIME 21.29

**LIVESTOCK CARRIER**
**CONDITION NO 5**
**==========**

**Cattles 13649 p a 470 kg Departure 19+3 days**

| WEIGHT ITEM | SPECIF: WEIGHT OR UNIT | WEIGHT TON | LCG FROM L/2 M | VCG FROM BL M | TCG FROM CL M | FREE SURFACE MOMENT TON*M | PERC. OF FILL. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Constant** | | | | | | | |
| After Peak Cooling FW | 1.0000 | 64.8 | -73.443 | 3.333 | -0.000 | | 100.00 |
| Crew | 1.0000 | 6.000 | 69.475 | 26.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Nonstructural Tanks | 1.0000 | 8.400 | -55.150 | 8.850 | 0.000 | | 0.00 |
| Water in Piping | 1.0000 | 14.5 | -8.900 | 2.300 | 0.000 | | 0.00 |
| Constant | | 93.7 | -52.649 | 5.119 | -0.000 | | |
| **Provisions & Stores** | | | | | | | |
| Engine Store | 1.0000 | 6.000 | -50.700 | 9.500 | 0.000 | | 0.00 |
| Proviant | 1.0000 | 6.000 | 66.975 | 25.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Bossuns Store | 1.0000 | 8.000 | 81.775 | 16.200 | 0.000 | | 0.00 |
| Provisions & Stores | | 20.0 | 37.592 | 16.830 | 0.000 | | |
| **Fuel Oil** | | | | | | | |
| Bunker Tank SB HFO | 0.9600 | 350.0 | -43.627 | 4.766 | 4.587 | 2092.86 | 44.09 |
| Bunker Tank PS HFO | 0.9600 | 350.0 | -43.653 | 4.761 | -4.552 | 2092.86 | 43.25 |
| HFO Daily Tk No1 | 0.9600 | 30.0 | -46.025 | 8.490 | 0.750 | | 98.00 |
| HFO Daily Tk LS | 0.9600 | 30.0 | -46.025 | 8.490 | 2.250 | | 98.00 |
| HFO Daily Tk No2 | 0.9600 | 18.8 | -75.574 | 10.983 | 9.579 | 7.38 | 97.64 |
| Fuel Oil | | 778.8 | -44.595 | 5.201 | 0.363 | 4193.09 | |
| **Diesel Oil** | | | | | | | |
| DO Storage Tk SB | 0.8600 | 76.8 | -74.928 | 10.805 | 7.885 | | 98.00 |
| DO Service Tk AMSA | 0.8600 | 25.2 | -79.798 | 10.376 | 7.986 | | 98.00 |
| Diesel Oil | | 102.1 | -76.131 | 10.699 | 7.910 | | |
| **Lubricating Oil** | | | | | | | |
| M.Eng.L.O.Storage Tk | 0.9000 | 18.0 | -68.547 | 10.410 | -10.289 | 10.14 | 97.76 |
| M.E.Cyl.Oil St.Tk | 0.9000 | 27.8 | -66.416 | 10.355 | -10.277 | 15.21 | 97.48 |
| A.Eng.L.Oil Drain Tk | 0.9000 | 6.200 | -69.825 | 7.379 | 0.000 | 1.72 | 95.06 |
| A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 0.9000 | 6.400 | -69.825 | 10.323 | -6.750 | 1.72 | 95.49 |
| M.Eng.L.O.Circ.Tk | 0.9000 | 14.1 | -55.375 | 1.085 | 0.000 | 7.67 | 97.24 |
| Lubricating Oil | | 72.5 | -65.390 | 8.309 | -7.091 | 36.46 | |
| **Fresh Water** | | | | | | | |
| Fresh W.Tk SB | 1.0000 | 82.8 | -84.437 | 10.444 | 7.995 | 82.92 | 99.90 |
| Fresh W.Tk PS | 1.0000 | 82.8 | -84.437 | 10.444 | -7.995 | 82.92 | 99.90 |
| Fresh W Coll Tk Aft | 1.0000 | 24.0 | -58.550 | 7.806 | -7.614 | 61.64 | 78.87 |
| Feed Water Tk | 1.0000 | 7.000 | -63.755 | 8.008 | 6.548 | 29.70 | 59.19 |
| DB Tk No3 C FW | 1.0000 | 732.4 | -20.099 | 1.094 | -0.000 | | 100.00 |
| DB Tk No3 SB FW/WB | 1.0000 | 340.0 | -17.464 | 1.322 | 8.172 | 1531.16 | 97.35 |
| DB Tk No3 PS FW/WB | 1.0000 | 340.0 | -17.464 | 1.322 | -8.172 | 1531.16 | 97.35 |
| DB Tk No2 C FW/WB | 1.0000 | 726.4 | 17.242 | 1.096 | -0.000 | | 100.00 |
| DB Tk No2 PS FW/WB | 1.0000 | 290.2 | 13.119 | 1.342 | -7.914 | | 100.00 |
| DB Tk No2 SB WB/FW | 1.0000 | 290.2 | 13.119 | 1.342 | 7.914 | | 100.00 |
| Water in toughs | 1.0000 | 78.0 | -5.500 | 15.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Fresh Water | | 2993.7 | -7.590 | 2.144 | -0.046 | 3319.51 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Miscelaneous tanks | | | | | | | |
| ==================== | | | | | | | |
| Bilge Water Coll.Tk | 1.0000 | 20.3 | -52.882 | 0.724 | 2.886 | 41.09 | 43.33 |
| Separators Sludge Tk | 1.0000 | 8.600 | -59.200 | 8.143 | -6.667 | 14.94 | 66.18 |
| Drain/Sludge Tk | 1.0000 | 4.300 | -74.358 | 7.493 | 0.000 | 4.05 | 35.40 |
| Holding Tank | 1.0000 | 7.800 | 64.210 | 11.326 | -6.931 | 84.03 | 14.09 |
| Miscelaneous tanks | | 41.0 | -34.184 | 5.007 | -1.288 | 144.11 | |
| Fooder | | | | | | | |
| ======== | | | | | | | |
| Fooder in silos | 1.0000 | 1711.5 | 46.085 | 8.850 | 0.000 | | 0.00 |
| Fooder in feeders | 1.0000 | 975.0 | -2.000 | 25.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Fooder in toughs | 0.6500 | 136.5 | -5.500 | 15.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Fooder | | 2823.5 | 26.473 | 14.882 | 0.000 | | |
| Cargo | | | | | | | |
| ======== | | | | | | | |
| Cattles 2272p Dk9 | 0.4700 | 1067.8 | -4.180 | 22.890 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 2272p Dk8 | 0.4700 | 1067.8 | -4.180 | 20.440 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 2242p Dk7 | 0.4700 | 1053.7 | -5.310 | 17.990 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 2030p Dk6 | 0.4700 | 954.1 | -7.150 | 15.550 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 1439p Dk5 | 0.4700 | 676.3 | -22.400 | 12.890 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 1020p Dk4 | 0.4700 | 479.4 | -2.610 | 10.440 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 942p Dk3 | 0.4700 | 442.7 | -2.570 | 7.990 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 841p Dk2 | 0.4700 | 395.3 | -2.590 | 5.540 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 591p Dk1 | 0.4700 | 277.8 | -1.580 | 3.140 | 0.000 | | 0.00 |
| Cargo | | 6415.0 | -6.289 | 15.648 | 0.000 | | |
| TOTAL DEADWEIGHT | | 13266.3 | -3.249 | 11.645 | 0.029 | 7693.17 | |
| LIGHT SHIP | | 10751.0 | -6.345 | 12.930 | 0.000 | | |
| TOTAL DISPLACEMENT | | 24017.3 | -4.635 | 12.220 | 0.016 | 7693.17 | |

| | | |
|---|---|---|
| Draft aft | = | 9.263 M |
| Draft amidship | = | 8.461 M |
| Draft fore | = | 7.659 M |
| Trim | = | -1.604 M |
| Propeller immersion 153.62 % | | |
| GM - metacentric height | = | 2.798 M |
| GG'- free surface corection | = | 0.320 M |
| G'M - corrected metacentrtic height | = | 2.477 M |
| Angle of heel | = | 0.372 DEG |

| angles of heel | 0.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KN | 0.026 | 1.317 | 2.635 | 5.255 | 7.626 | 9.196 | 10.067 | 10.429 |
| GZ uncorrected | 0.005 | 0.252 | 0.513 | 1.076 | 1.516 | 1.341 | 0.705 | -0.154 |
| GZ corr.real f.s | 0.005 | 0.244 | 0.499 | 1.047 | 1.465 | 1.267 | 0.617 | -0.249 |

POLUGA MOMENTA POMAKA STOKE

$$Z0° = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} = \frac{0,47 \cdot 17929,3}{1,688 \cdot 24017,3} = 0,208 \text{ m}; \quad Z40° = 0,8 \cdot Z0° = 0,1163 \text{ m}$$

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = \frac{5141}{1,54 \cdot 24017,3} = 0,139 \text{ m}; \quad Y40° = 0,8 \cdot Y0° = 0,111 \text{ m}$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

$$X0° = \frac{P \cdot A \cdot H}{D} = \frac{0,05 \cdot 3067,9 \cdot 13,296}{24017,3} = 0,0849 \text{ m}; \quad X40° = 0,8 \cdot X0° = 0,068 \text{ m}$$

$$\text{Kut nagiba} = \frac{X}{GM} \cdot 57,3 = \frac{0,0849}{2,477} \cdot 57,3 = 1,964°$$

$$A_{MIN} = 0,018 + 0,2(A + B) = 0,018 + 0,2 \cdot 0,650 = 0,148$$

STABILITY CRITERIA EVALUATION
==========

| NO | DESCRIPTION | REQUIRED | ACTUAL |
|---|---|---|---|
| 1 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 30.0 DEGREES | 0.055 | 0.403 |
| 2 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 40.0 DEGREES | 0.090 | 0.650 |
| 3 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 30.0 TO 40.0 DEGREES | 0.030 | 0.247 |
| 4 | GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES | 0.200 | 1.465 |
| 5 | RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 25.0 DEGREES | | 31.800 |
| 6 | SLOPE OF GZC CURVE AT THE ANGLE 0.0 DEGREES | 1.562 | 2.477 |
| 7 | AMSA WEATHER CRITERIA | | |
| | STEADY HEEL ANGLE | <10.00° | 1.964° |
| | A (Prema Slika 43) | 0.148 | <0.426 |

**Cattles 13649 p a 470 kg Departure 19+3 days**

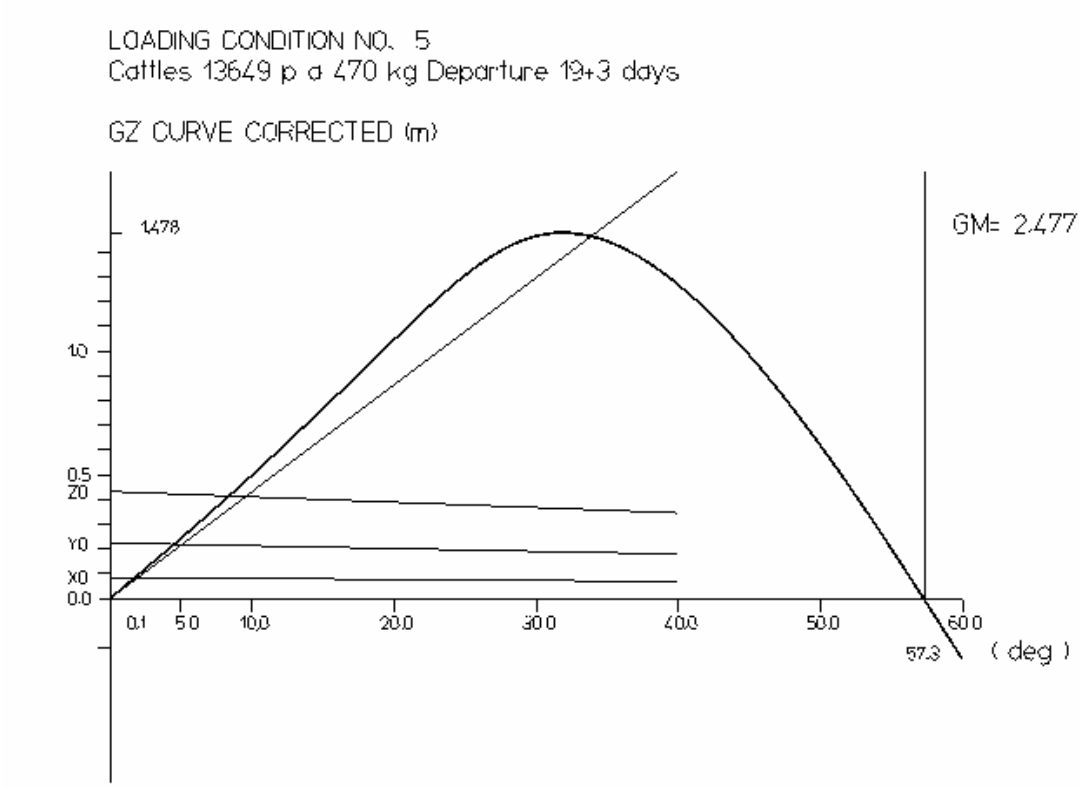
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.
---

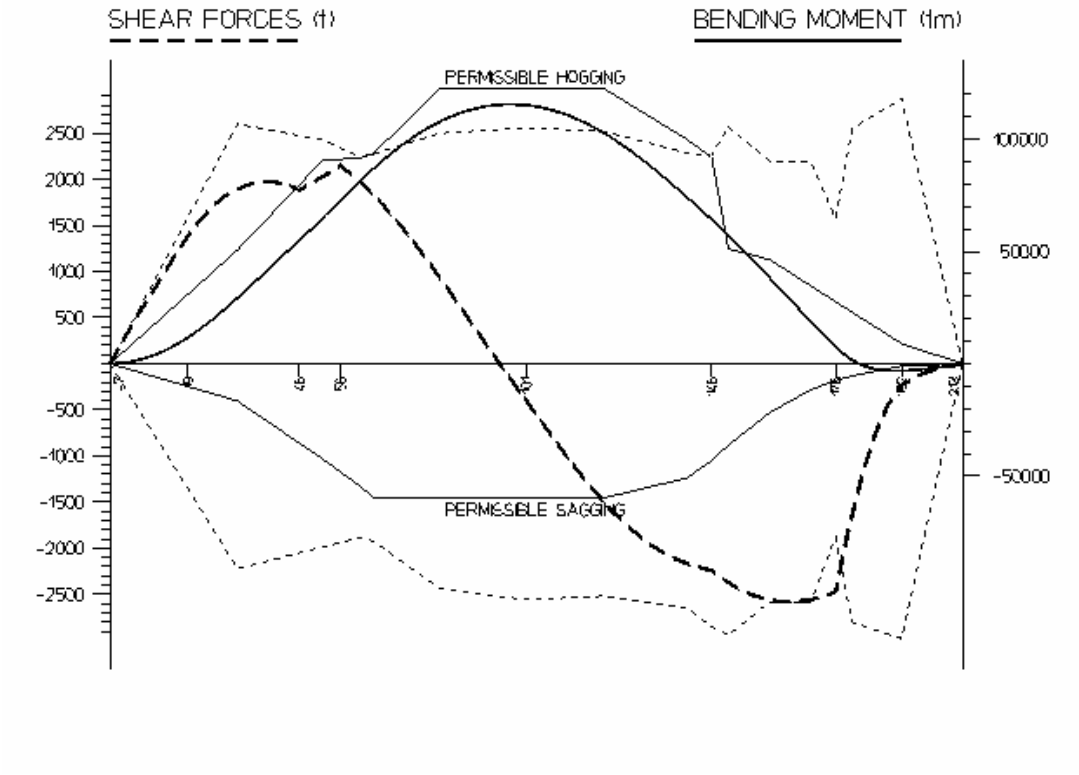
| NO | DIST | SHEAR FORCE | BENDING MOMENT | DRAFT |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -87.140 | 0.000 | 0.0 | 9.292 |
| 2 | -84.849 | 210.460 | 236.1 | 9.270 |
| 3 | -82.557 | 432.951 | 988.6 | 9.248 |
| 4 | -80.266 | 623.412 | 2236.6 | 9.226 |
| 5 | -77.974 | 814.725 | 3924.4 | 9.203 |
| 6 | -75.683 | 1009.670 | 6061.0 | 9.181 |
| 7 | -73.391 | 1207.993 | 8660.4 | 9.159 |
| 8 | -71.100 | 1388.430 | 11704.6 | 9.136 |
| 9 | -68.550 | 1558.591 | 15548.5 | 9.112 |
| 10 | -66.000 | 1709.052 | 19822.4 | 9.087 |
| 11 | -63.450 | 1817.798 | 24446.4 | 9.062 |
| 12 | -60.900 | 1886.975 | 29306.7 | 9.037 |
| 13 | -58.350 | 1947.931 | 34340.7 | 9.012 |
| 14 | -55.800 | 1978.746 | 39513.6 | 8.988 |
| 15 | -53.250 | 1970.918 | 44721.9 | 8.963 |
| 16 | -50.700 | 1940.089 | 49894.1 | 8.938 |
| 17 | -48.150 | 1882.628 | 54966.6 | 8.913 |
| 18 | -45.317 | 1966.453 | 60651.3 | 8.886 |
| 19 | -42.483 | 2054.712 | 66589.6 | 8.858 |
| 20 | -39.650 | 2149.544 | 72808.9 | 8.831 |
| 21 | -35.400 | 1957.489 | 81951.0 | 8.789 |
| 22 | -31.150 | 1735.235 | 90274.5 | 8.748 |
| 23 | -26.900 | 1474.567 | 97605.2 | 8.707 |
| 24 | -22.650 | 1184.347 | 103798.4 | 8.665 |
| 25 | -18.400 | 873.670 | 108747.9 | 8.624 |
| 26 | -14.150 | 551.552 | 112385.9 | 8.583 |
| 27 | -9.900 | 226.739 | 114682.6 | 8.541 |
| 28 | -5.650 | -92.588 | 115644.1 | 8.500 |
| 29 | -1.400 | -398.822 | 115310.1 | 8.459 |
| 30 | 2.850 | -711.496 | 113702.8 | 8.417 |
| 31 | 7.100 | -1016.620 | 110814.6 | 8.376 |
| 32 | 11.350 | -1302.049 | 106703.8 | 8.335 |
| 33 | 15.600 | -1558.109 | 101476.0 | 8.293 |
| 34 | 19.850 | -1778.388 | 95270.5 | 8.252 |
| 35 | 24.100 | -1958.377 | 88249.6 | 8.211 |
| 36 | 28.350 | -2094.682 | 80591.8 | 8.169 |
| 37 | 32.600 | -2184.400 | 72489.1 | 8.128 |
| 38 | 36.850 | -2245.494 | 64136.4 | 8.087 |
| 39 | 39.683 | -2355.408 | 58329.5 | 8.059 |
| 40 | 42.517 | -2443.789 | 52257.8 | 8.032 |
| 41 | 45.350 | -2510.484 | 45982.6 | 8.004 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 42 | 48.183 | -2555.494 | 39565.3 | 7.977 |
| 43 | 51.017 | -2579.015 | 33067.2 | 7.949 |
| 44 | 53.850 | -2581.558 | 26548.5 | 7.922 |
| 45 | 56.683 | -2563.948 | 20067.5 | 7.894 |
| 46 | 59.517 | -2527.335 | 13679.9 | 7.866 |
| 47 | 62.350 | -2473.227 | 7437.3 | 7.839 |
| 48 | 65.070 | -1780.518 | 2506.2 | 7.812 |
| 49 | 67.790 | -1209.317 | -689.8 | 7.786 |
| 50 | 70.510 | -760.514 | -2484.5 | 7.760 |
| 51 | 73.230 | -434.518 | -3209.9 | 7.733 |
| 52 | 75.950 | -234.029 | -3203.8 | 7.707 |
| 53 | 78.470 | -154.452 | -2855.0 | 7.682 |
| 54 | 80.990 | -93.674 | -2316.1 | 7.658 |
| 55 | 83.510 | -52.603 | -1635.9 | 7.633 |
| 56 | 86.030 | -23.456 | -857.8 | 7.609 |
| 57 | 88.550 | 0.000 | 0.0 | 7.584 |

```
MAXIMUM SHEAR FORCE     =   -2581.558 (100.1%) AT A DISTANCE OF =  53.850
MAXIMUM BENDING MOMENT =    115644.1 ( 94.5%) AT A DISTANCE OF =  -6.882
```

**Napomena:** Za ovo stanje krcanja nije zadovoljena uzdužna čvrstoća, tj. smične sile su veće nego što su to dozvoljene smične sile koje su pretpostavljenje. U ovom slučaju su smične sile na mjestu 53,85 m od $L_{PP}/2$ 0,1% veće od pretpostavljenih smičnih sila. Pretpostavljene smične sile uzete su prema Gradnji 428 [12]. Potrebno je, prilikom proračuna poprečnog presjeka broda, uzeti u obzir dane smične sile i momente savijanja te, gdje je to potrebno, povećati dimenzije poprečnog presjeka.


LOADING CONDITION NO. 5
Cattles 13649 p a 470 kg Departure 19+3 days
GZ CURVE CORRECTED (m)
1.478
GM= 2.477
1.0
0.5
Z0
Y0
X0
0.0
0.1
5.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
57.3
( deg )


SHEAR FORCES (t)
BENDING MOMENT (tm)
PERMISSIBLE HOGGING
PERMISSIBLE SAGGING
2500
2000
1500
1000
500
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
100000
50000
-50000

SEAKING HYDROSTATIC SYSTEM 2008-05-13 TIME 21.29

**LIVESTOCK CARRIER**
**CONDITION NO 6**
**==========**

**Cattles 13649 p a 470 kg Arrival**

| WEIGHT ITEM | SPECIF: WEIGHT: OR : UNIT : WEIGHT: | WEIGHT : TON : | LCG : FROM L/2 : M : | VCG : FROM BL : M : | TCG : FROM CL : M : | FREE SURFACE: MOMENT : TON*M : | PERC.: OF : FILL.: |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | | | | | | |
| ======== | | | | | | | |
| After Peak Cooling FW | 1.0000 | 64.8 | -73.443 | 3.333 | -0.000 | | 100.00 |
| Crew | 1.0000 | 6.000 | 69.475 | 26.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Nonstructural Tanks | 1.0000 | 8.400 | -55.150 | 8.850 | 0.000 | | 0.00 |
| Water in Piping | 1.0000 | 14.5 | -8.900 | 2.300 | 0.000 | | 0.00 |
| Constant | | 93.7 | -52.649 | 5.119 | -0.000 | | |
| Provisions & Stores | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| Engine Store | 0.1000 | 0.600 | -50.700 | 9.500 | 0.000 | | 0.00 |
| Proviant | 0.1000 | 0.600 | 66.975 | 25.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Bossuns Store | 0.1000 | 0.800 | 81.775 | 16.200 | 0.000 | | 0.00 |
| Provisions & Stores | | 2.000 | 37.592 | 16.830 | 0.000 | | |
| Fuel Oil | | | | | | | |
| ======== | | | | | | | |
| Bunker Tank SB HFO | 0.9600 | 80.0 | -43.655 | 2.726 | 3.510 | 2092.86 | 10.08 |
| Bunker Tank PS HFO | 0.9600 | 80.0 | -43.655 | 2.726 | -3.510 | 2092.86 | 9.89 |
| HFO Daily Tk No1 | 0.9600 | 29.9 | -46.025 | 8.481 | 0.750 | 1.15 | 97.64 |
| HFO Daily Tk LS | 0.9600 | 29.9 | -46.025 | 8.481 | 2.250 | 1.15 | 97.64 |
| HFO Daily Tk No2 | 0.9600 | 18.8 | -75.574 | 10.983 | 9.579 | 7.38 | 97.64 |
| Fuel Oil | | 238.6 | -46.764 | 4.819 | 1.131 | 4195.39 | |
| Diesel Oil | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| DO Storage Tk SB | 0.8600 | 7.000 | -74.482 | 9.690 | 6.386 | 109.07 | 8.93 |
| DO Service Tk AMSA | 0.8600 | 7.000 | -79.794 | 9.311 | 7.559 | 25.17 | 27.21 |
| Diesel Oil | | 14.0 | -77.138 | 9.500 | 6.973 | 134.24 | |
| Lubricating Oil | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| M.Eng.L.O.Storage Tk | 0.9000 | 3.000 | -68.531 | 9.196 | -9.741 | 10.14 | 16.29 |
| M.E.Cyl.Oil St.Tk | 0.9000 | 3.400 | -66.356 | 8.999 | -9.466 | 15.21 | 11.92 |
| A.Eng.L.Oil Drain Tk | 0.9000 | 1.000 | -69.825 | 6.225 | 0.000 | 1.72 | 15.33 |
| A.Eng.L.Oil Stor.Tk | 0.9000 | 0.900 | -69.825 | 9.100 | -6.750 | 1.72 | 13.43 |
| M.Eng.L.O.Circ.Tk | 0.9000 | 14.1 | -55.375 | 1.085 | 0.000 | 7.67 | 97.24 |
| Renovating L.Oil Tk | 0.9000 | 16.3 | -65.181 | 0.458 | -0.000 | 76.59 | 31.31 |
| Lubricating Oil | | 38.7 | -62.199 | 2.464 | -1.744 | 113.05 | |
| Fresh Water | | | | | | | |
| ========== | | | | | | | |
| Fresh W.Tk SB | 1.0000 | 10.0 | -84.356 | 9.116 | 6.958 | 82.92 | 12.07 |
| Fresh W.Tk PS | 1.0000 | 10.0 | -84.356 | 9.116 | -6.958 | 82.92 | 12.07 |
| Fresh W Coll Tk Aft | 1.0000 | 24.0 | -58.550 | 7.806 | -7.614 | 61.64 | 78.87 |
| Feed Water Tk | 1.0000 | 7.000 | -63.755 | 8.008 | 6.548 | 29.70 | 59.19 |
| DB Tk No3 C FW | 1.0000 | 732.4 | -20.099 | 1.094 | -0.000 | | 100.00 |
| DB Tk No3 SB FW/WB | 1.0000 | 100.0 | -17.228 | 0.750 | 7.407 | 1531.16 | 28.63 |
| DB Tk No3 PS FW/WB | 1.0000 | 100.0 | -17.228 | 0.750 | -7.407 | 1531.16 | 28.63 |
| DB Tk No2 C FW/WB | 1.0000 | 726.4 | 17.242 | 1.096 | -0.000 | | 100.00 |
| DB Tk No2 SB WB/FW | 1.0000 | 290.2 | 13.119 | 1.342 | 7.914 | | 100.00 |
| DB Tk No2 PS FW/WB | 1.0000 | 290.2 | 13.119 | 1.342 | -7.914 | | 100.00 |
| Water in toughs | 1.0000 | 78.0 | -5.500 | 15.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Fresh Water | | 2368.1 | -0.843 | 1.741 | -0.058 | 3319.51 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Miscelaneous tanks** | | | | | | | |
| Bilge Water Coll.Tk | 1.0000 | 20.3 | -52.882 | 0.724 | 2.886 | 41.09 | 43.33 |
| Separators Sludge Tk | 1.0000 | 8.600 | -59.200 | 8.143 | -6.667 | 14.94 | 66.18 |
| Drain/Sludge Tk | 1.0000 | 4.300 | -74.358 | 7.493 | 0.000 | 4.05 | 35.40 |
| Holding Tank | 1.0000 | 7.800 | 64.210 | 11.326 | -6.931 | 84.03 | 14.09 |
| Deep Tank WB/Dung Holding | 1.0000 | 422.9 | 65.264 | 6.722 | -0.039 | | 100.00 |
| DB/Wing Tk No1 SB WB | 1.0000 | 262.6 | 45.569 | 2.255 | 3.634 | | 100.00 |
| DB/Wing Tk No1 PS WB | 1.0000 | 262.6 | 45.569 | 2.255 | -3.634 | | 100.00 |
| Miscelaneous tanks | | 989.0 | 50.684 | 4.279 | -0.070 | 144.11 | |
| **Fooder** | | | | | | | |
| Fooder in feeders | 0.6500 | 400.0 | -2.000 | 15.779 | 0.000 | | 0.00 |
| Fooder in toughs | 0.6500 | 136.5 | -5.500 | 15.000 | 0.000 | | 0.00 |
| Fooder | | 536.5 | -2.890 | 15.581 | 0.000 | | |
| **Cargo** | | | | | | | |
| Cattles 2272p Dk9 | 0.4700 | 1067.8 | -4.180 | 22.890 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 2272p Dk8 | 0.4700 | 1067.8 | -4.180 | 20.440 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 2242p Dk7 | 0.4700 | 1053.7 | -5.310 | 17.990 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 2030p Dk6 | 0.4700 | 954.1 | -7.150 | 15.550 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 1439p Dk5 | 0.4700 | 676.3 | -22.400 | 12.890 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 1020p Dk4 | 0.4700 | 479.4 | -2.610 | 10.440 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 942p Dk3 | 0.4700 | 442.7 | -2.570 | 7.990 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 841p Dk2 | 0.4700 | 395.3 | -2.590 | 5.540 | 0.000 | | 0.00 |
| Cattles 591p Dk1 | 0.4700 | 277.8 | -1.580 | 3.140 | 0.000 | | 0.00 |
| Cargo | | 6415.0 | -6.289 | 15.648 | 0.000 | | |
| TOTAL DEADWEIGHT | | 10695.6 | -1.240 | 11.125 | 0.009 | 7906.29 | |
| LIGHT SHIP | | 10751.0 | -6.345 | 12.930 | 0.000 | | |
| TOTAL DISPLACEMENT | | 21446.6 | -3.799 | 12.030 | 0.004 | 7906.29 | |

| | | |
|---|---|---|
| Draft aft | = | 8.543 M |
| Draft amidship | = | 7.808 M |
| Draft fore | = | 7.072 M |
| Trim | = | -1.471 M |
| Propeller immersion 141.25 % | | |
| GM - metacentric height | = | 2.402 M |
| GG'- free surface corection | = | 0.369 M |
| G'M - corrected metacentrtic height | = | 2.033 M |
| Angle of heel | = | 0.123 DEG |

| angles of heel | 0.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KN | 0.025 | 1.271 | 2.584 | 5.229 | 7.722 | 9.427 | 10.358 | 10.736 |
| GZ uncorrected | 0.004 | 0.222 | 0.495 | 1.114 | 1.707 | 1.694 | 1.143 | 0.318 |
| GZ corr.real f.s | 0.004 | 0.212 | 0.474 | 1.078 | 1.662 | 1.641 | 1.079 | 0.252 |

POLUGA MOMENTA POMAKA STOKE

$$Z0° = \frac{m \cdot C}{f \cdot D} = \frac{0,47 \cdot 17929,3}{1,688 \cdot 21446,6} = 0,233 \text{ m}; \quad Z40° = 0,8 \cdot Z0° = 0,186 \text{ m}$$

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = \frac{5141}{1,54 \cdot 21446,6} = 0,1557 \text{ m}; \quad Y40° = 0,8 \cdot Y0° = 0,1245 \text{ m}$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

$$X0° = \frac{P \cdot A \cdot H}{D} = \frac{0,05 \cdot 3159,4 \cdot 13,311}{21446,6} = 0,098 \text{ m}; \quad X40° = 0,8 \cdot X0° = 0,0784 \text{ m}$$

$$\text{Kut nagiba} = \frac{X}{GM} \cdot 57,3 = \frac{0,098}{2,033} \cdot 57,3 = 2,762°$$

$$A_{MIN} = 0,018 + 0,2(A + B) = 0,018 + 0,2 \cdot 0,714 = 0,1608$$

STABILITY CRITERIA EVALUATION
==========

| NO | DESCRIPTION | REQUIRED | ACTUAL |
|---|---|---|---|
| 1 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 30.0 DEGREES | 0.055 | 0.416 |
| 2 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 40.0 DEGREES | 0.090 | 0.714 |
| 3 | AREA UNDER GZC CURVE FROM 30.0 TO 40.0 DEGREES | 0.030 | 0.298 |
| 4 | GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES | 0.200 | 1.662 |
| 5 | RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 25.0 DEGREES | | 34.800 |
| 6 | SLOPE OF GZC CURVE AT THE ANGLE 0.0 DEGREES | 1.529 | 2.033 |
| 7 | AMSA WEATHER CRITERIA | | |
| | STEADY HEEL ANGLE | <10.00° | 2.762° |
| | A (Prema Slika 43) | 0.161 | <0.451 |

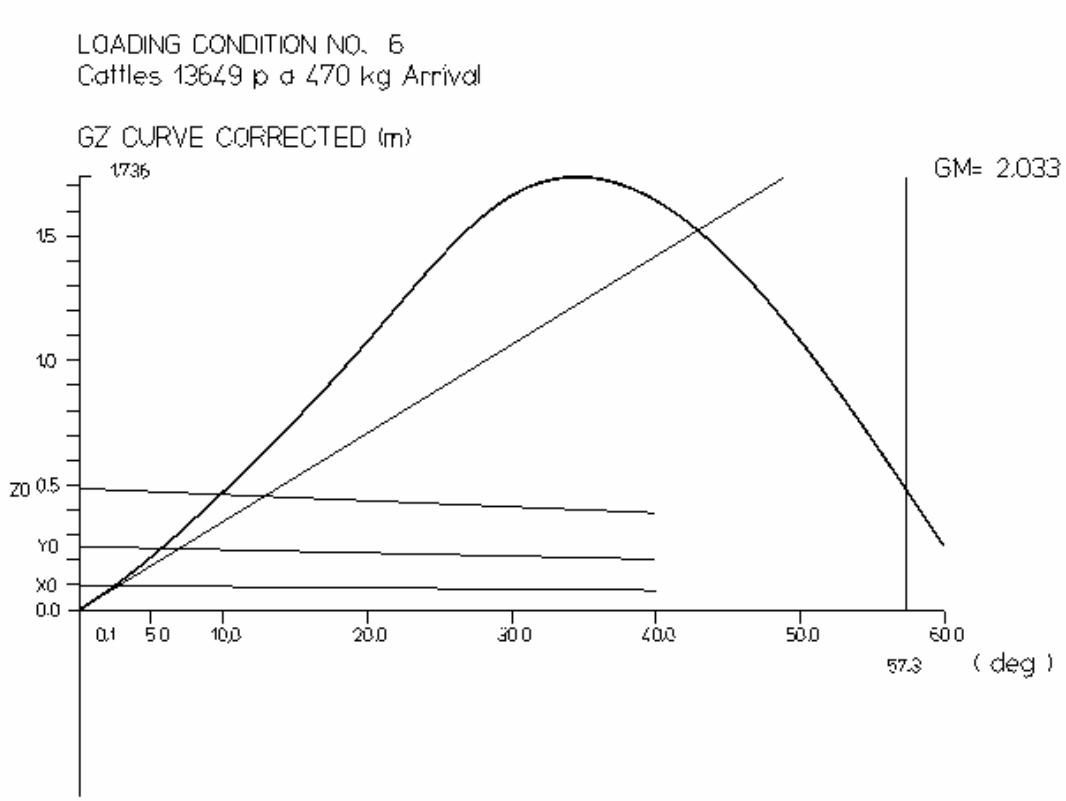
**Cattles 13649 p a 470 kg Arrival**

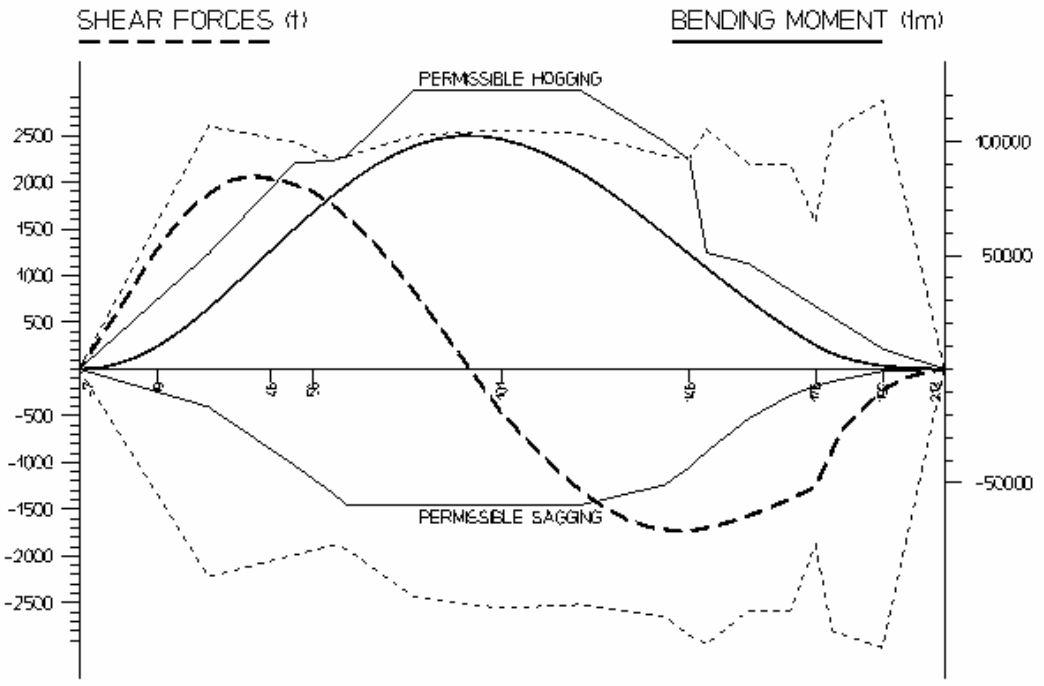
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.
---

| NO | DIST | SHEAR FORCE | BENDING MOMENT | DRAFT |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -87.140 | 0.000 | 0.0 | 8.569 |
| 2 | -84.849 | 173.884 | 192.6 | 8.548 |
| 3 | -82.557 | 356.044 | 797.7 | 8.528 |
| 4 | -80.266 | 541.042 | 1823.2 | 8.507 |
| 5 | -77.974 | 728.327 | 3276.1 | 8.487 |
| 6 | -75.683 | 921.181 | 5160.3 | 8.467 |
| 7 | -73.391 | 1117.633 | 7491.1 | 8.446 |
| 8 | -71.100 | 1297.022 | 10251.5 | 8.426 |
| 9 | -68.550 | 1474.099 | 13778.7 | 8.403 |
| 10 | -66.000 | 1631.397 | 17734.0 | 8.380 |
| 11 | -63.450 | 1765.797 | 22059.0 | 8.358 |
| 12 | -60.900 | 1869.453 | 26691.7 | 8.335 |
| 13 | -58.350 | 1962.229 | 31566.5 | 8.312 |
| 14 | -55.800 | 2026.558 | 36649.2 | 8.289 |
| 15 | -53.250 | 2053.333 | 41840.3 | 8.267 |
| 16 | -50.700 | 2057.022 | 47068.8 | 8.244 |
| 17 | -48.150 | 2034.571 | 52272.0 | 8.221 |
| 18 | -45.317 | 2004.151 | 57978.0 | 8.196 |
| 19 | -42.483 | 1957.207 | 63566.3 | 8.171 |
| 20 | -39.650 | 1895.714 | 69005.1 | 8.145 |
| 21 | -35.400 | 1743.313 | 76689.0 | 8.107 |
| 22 | -31.150 | 1557.100 | 83675.5 | 8.070 |
| 23 | -26.900 | 1328.418 | 89774.0 | 8.032 |
| 24 | -22.650 | 1065.554 | 94821.6 | 7.994 |
| 25 | -18.400 | 776.932 | 98690.8 | 7.956 |
| 26 | -14.150 | 471.052 | 101290.3 | 7.918 |
| 27 | -9.900 | 156.471 | 102564.8 | 7.880 |
| 28 | -5.650 | -158.637 | 102495.1 | 7.842 |
| 29 | -1.400 | -466.667 | 101095.1 | 7.804 |
| 30 | 2.850 | -706.275 | 98531.6 | 7.766 |
| 31 | 7.100 | -938.867 | 94956.8 | 7.728 |
| 32 | 11.350 | -1152.827 | 90425.8 | 7.691 |
| 33 | 15.600 | -1339.473 | 85037.8 | 7.653 |
| 34 | 19.850 | -1493.160 | 78921.4 | 7.615 |
| 35 | 24.100 | -1609.944 | 72225.8 | 7.577 |
| 36 | 28.350 | -1686.997 | 65114.0 | 7.539 |
| 37 | 32.600 | -1721.930 | 57760.0 | 7.501 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 38 | 36.850 | -1733.163 | 50338.6 | 7.463 |
| 39 | 39.683 | -1705.228 | 45398.6 | 7.438 |
| 40 | 42.517 | -1670.539 | 40545.8 | 7.413 |
| 41 | 45.350 | -1629.046 | 35799.4 | 7.387 |
| 42 | 48.183 | -1580.834 | 31178.5 | 7.362 |
| 43 | 51.017 | -1526.158 | 26702.1 | 7.337 |
| 44 | 53.850 | -1465.546 | 22387.5 | 7.312 |
| 45 | 56.683 | -1399.818 | 18250.7 | 7.286 |
| 46 | 59.517 | -1330.151 | 14304.5 | 7.261 |
| 47 | 62.350 | -1258.058 | 10557.9 | 7.236 |
| 48 | 65.070 | -951.256 | 7475.8 | 7.212 |
| 49 | 67.790 | -647.891 | 5223.4 | 7.187 |
| 50 | 70.510 | -492.576 | 3627.8 | 7.163 |
| 51 | 73.230 | -365.179 | 2378.2 | 7.139 |
| 52 | 75.950 | -234.149 | 1479.2 | 7.115 |
| 53 | 78.470 | -152.151 | 918.0 | 7.092 |
| 54 | 80.990 | -90.662 | 536.8 | 7.070 |
| 55 | 83.510 | -50.244 | 282.7 | 7.047 |
| 56 | 86.030 | -22.309 | 110.0 | 7.025 |
| 57 | 88.550 | 0.000 | 0.0 | 7.002 |

MAXIMUM SHEAR FORCE = 2057.022 ( 82.3%) AT A DISTANCE OF = -50.700
MAXIMUM BENDING MOMENT = 102697.6 ( 84.0%) AT A DISTANCE OF = -7.790


LOADING CONDITION NO. 6
Cattles 13649 p a 470 kg Arrival
GZ CURVE CORRECTED (m)
1736
GM= 2.033
1.5
1.0
Z0 0.5
Y0
X0
0.0
0.1
5.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
57.3
( deg )


SHEAR FORCES (t)
BENDING MOMENT (tm)
PERMISSIBLE HOGGING
PERMISSIBLE SAGGING
2500
2000
1500
1000
500
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
100000
50000
-50000

# 6. Usporedba glavnih parametara gradnje 428 i novog projekta

Glavne dimenzije projektiranog broda gotovo da nisu uopće promjenjene u odnosu na postojeći projekt. Izmjena, koja je dovela do manje promjene u visini broda je, što se orebrenje 10. palube gradnje 428 nalazi s vanjske strane dok je na postojećem projektu ukrepljenje s donje strane opločenja palube pa je zbog toga teoretska visina do 10. palube na novom projektu nešto veća.

Prognozirana brzina novog projekta je nešto veća s obzirom na brzinu gradnje 428 zbog novog pogonskog sustava čija je ukupna snaga nešto veća nego snaga pogonskog sustava gradnje 428.

Izmjenom modela strukture broda čime palube 7 i 8 sudjeluju 100 % u uzdužnoj čvrstoči broda doveli su do manje mase lakog broda unatoč dodavanju novih uređaja, poput novog pogonskog uređaja i feedera za smještaj stočne hrane, s obzirom na gradnju 428, što, naravno, povećava nosivost na projektnom gazu i smanjuje proračunski gaz.

**Tablica 1.** Usporedbena tablica glavnih karakteristika gradnje 428 i novog projekta

| | **Gradnja 428** | **Projekt** |
|---|---|---|
| Duljina preko svega | 176,27 m | 176,85 m |
| Duljina između okomica | 165,0 m | 165,0 m |
| Širina, teoretska | 31,1 m | 31,1 m |
| Visina do 6. palube, teoretska | 14,53 m | 14,53 m |
| Visina do 10. palube, teoretska | 24,08 m | 24,33 m |
| Gaz, projektni teoretski | 7,7 m | 7,7 m |
| Nosivost na projektnom gazu | 9728 t | 10179 t |
| Gaz, proračunski teoretski | 8,7 m | 8,45 m |
| Nosivost na proračunskom gazu | 13462 t | 12930 t |
| Glavni stroj | MAN B&W 7S50MC-C | MAN B&W 6S50MC-C + P.O.D. |
| Izlazna snaga | 11060kW/127 o/min | 9480kW/127 o/min + 2000 kW/156 o/min |
| Brzina u službi (90% MCR, 15%SM, d = 7,7 m) | 19,8 čv | 19,88 čv |

Razlike u općem planu između gradnje 428 i novog projektu uzrokovane su prije svega zahtjevima brodovlasnika i novim propisima. Nužne izmjene na novom projektu uvjetovale su promjenu položaja tankova goriva, izmjene u prostoru strojarnice kao i smanjene teretnog prostora s obzirom na gradnju 428. Površinu teretnog prostora, danu prema projektnom zadatku, nije bilo moguće postići jer su potrebne izmjene zauzele koristan prostor koji se ne može nadoknaditi nego promjenom glavnih dimnezija projekta, ali to nije bio cilj ovog projekta. U slijedećoj tablici dana je usporedba površine teretnog prostora gradnje 428 i novog projekta.

**Tablica 2.** Usporedba površine teretnog prostora gradnje 428 i novog projekta

| Pozicija | Gradnja 428 | | Projekt | |
|---|---|---|---|---|
| | **Broj torova** | **Površina ($m^2$)** | **Broj torova** | **Površina ($m^2$)** |
| Paluba 4 ukupno | 107 | 1766,25 | 101 | 1658,83 |
| Paluba 3 ukupno | 102 | 1630,22 | 98 | 1554,62 |
| Paluba 2 ukupno | 92 | 1456,92 | 88 | 1381,36 |
| Paluba 1 ukupno | 66 | 1023,87 | 64 | 986,07 |
| Palube 1-9 ukupno | 1370 | 23378,85 | 1354 | 23082,5 |
| Torovi za bolesnu stoku - ukupno | 44 | 303,79 | 44 | 303,79 |
| Ukupno torova | 1414 | 23682,64 | 1398 | 23386,29 |
| Razlika | | | -16 | -296,35 |

# 7. Zaključak

Svakodnevni porast stanovništva u svijetu nameće potrebe za sve većom i opsežnijom razmjenom dobara između zemalja. Trgovina energentima, različitim sirovinama, poluproizvodima i proizvodima sveobuhvatna je i neophodna kako bi se održao današnji način života. Dnevno se u svijetu prevoze milijarde tona različitih dobara pri čemu se najveći dio barem dijelom prevozi pomorskim ili vodenim putem.

Sustav vrijednosti današnjeg društva u kojem vladaju zakoni slobodnog tržišta nameće novac kao vrijednosnu referencu prema kojoj su 'dobre stvari' one koje omogućuju bolju zaradu, profit te opstanak na tržištu. Na isti način funkcioniraju brodarske tvrtke koje svoji profit ostvaruju pružanjem usluga prijevoza robe. Kako bi se njihov profit maksimizirao potrebni su im ekonomični, kvalitetni brodovi koji će uz što manje troškova obaviti traženu zadaću.

Kvaliteta i ekonomičnost broda kao finalnog proizvoda koji će kroz godine eksploatacije osigurati brodovlasniku profit ostvaruje se pretežno u samom procesu projektiranja broda. Projektiranje broda obuhvaća osmišljavanje novog broda za funkciju za koju je predviđen suradnjom brodovlasnika, brodogradilišta i zakonodavnih tijela čija se pravila i propisi trebaju poštivati kako bi brod bio pouzdan i siguran za posadu, teret i širu okolinu.

Međunarodne i državne institucije, koje prate brodograđevnu industriju, svakog dana rade na povećanju sigurnosti novih i postojećih brodova. Zakoni i propisi se povremeno mijenjaju, a brodovi se moraju graditi i održavati u skladu s tim propisima.

Ovaj projekt obuhvaća idejno rješavanje projektnog zadatka koji obuhvaća upravo prije spomenute zahtjeve: jedan se odnosi na nove MARPOL propise koji propisuju položaje tankova goriva u trupu broda, a drugi je zahtjev brodovlasnika za pomoćnim pogonom kojim se želi postići unapređenje svojstava broda, njegova kvaliteta i dugoročno veći profit.

Kao osnova za izradu ovog projekta koristio se projekt gradnje 428 brodogradilišta 'Uljanik' – brod za prijevoz žive stoke. Postojeći projekt je bilo potrebno prepraviti prema danim zahtjevima u projektnom zadatku pri čemu je zahtijevana čista površina torova za smještaj stoke bila 23800 $m^2$. Novi raspored tankova goriva omogućio je zadovoljenje propisa [6] na taj način da je postignuti parametar prosječnog istjecanja goriva manji od zahtijevanog. Ugradnjom aktivnog kormila kao pomoćnog pogonskog sustava zadovoljen je zahtjev za alternativnom propulzijom koja će služiti za pogon broda u slučaju havarije osnovnog pogona. Oba rješenja osmišljena su tako da što manje zadiru u teretni prostor i da ne oduzmu korisnu površinu potrebnu za smještaj tereta. U analizi projekta provedeni su proračuni konstrukcije glavnog rebra, centracije te proračuni stabiliteta u oštećenom i neoštećenom stanju za pojedina stanja krcanja. Rezultati proračuna su pokazali da projekt zadovoljava sve zahtjeve dane propisima.

Sva rješenja primijenjena u ovom projektu dana su u nastojanju da finalni proizvod - brod bude što jeftiniji, kvalitetniji i ekonomičniji u svojoj eksploataciji. Jedini zahtjev koji nije ispunjen je potrebna površina za smještaj stoke. Zbog novih zahtijeva s obzirom na postojeći projekt ta je površina manja za približno 300 $m^2$.

Na kraju ovog rada mogu samo zaključiti da je projektiranje tako složenog proizvoda kao što je brod izuzetno zanimljiv posao, ali jednako tako složen i opsežan te zahtijeva ne samo poznavanje zakonitosti i pravila struke već i veliko iskustvo kako bi rješenja polučila kvalitetan proizvod koji će osigurati profit brodogradilištu, brodovlasniku te 'mirno more' posadi i teretu koji će na njemu ploviti.

# 8. Literatura


[1] FAOSTAT - Web baze podataka FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2008. http://faostat.fao.org/site/569/default.aspx

[2] IFANCA - Islamic Food and Nutrition Council of America, 2008. http://www.ifanca.org/halal/

[3] Meat & Livestock Australia, World Livestock Export Standards, 2006. http://www.mla.com.au/NR/rdonlyres/64655F7E-E379-44F0-A41B-F0D67944D94B/0/FinalReportWorldLivestockExportStandardsMarch2006.pdf.

[4] Australian Government, Australian Maritime Safety Authority (AMSA), *MARINE ORDERS, Part 43, Cargo & Cargo Handling-Livestock, Issue 5,* 2004.

[5] Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, *Livestock Mortalities for Exports by Sea*, 2008. http://www.daff.gov.au/animal-plant-health/welfare/export-trade/mortalities

[6] International Maritime Organisation (IMO), Marine Enviroment Protection Commitee, *Consideration and Adoption of Amendmnts to Mandatory Instruments, Amandments to the revised MARPOL Annex I (New regulation 13A, consequential amendments to the IOPP Certificate and amendments to regulation 21),* 2005.

[7] Ämmälä, P., ABB Industry Oy, Marine Group, *P Azipod® for Ultra Large Container Ships-An Advanced Cost-Effective Solution*, Helsinki, 2006.

[8] MAN Diesel Marine, 2008. http://www.mandiesel.com/engines/TwoStrokeLowSpeedPropEngines.asp?model=S50MC-C7

[9] USCS - Uljanik Shipbuilding Computer Systems, 2008. http://www.uscs.hr/index.htm

[10] IMO, *Subdivision & Damage of Cargo Ships*, *Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974*, London 2008.

[11] Det Norske Veritas, *Rules for Classification of Ships*, Jannuary 2007.

[12] Brodogradilište Uljanik – Gradnja 428, *Trim and Stability Book*, Pula 2002.