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: **2024-04-20**

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.

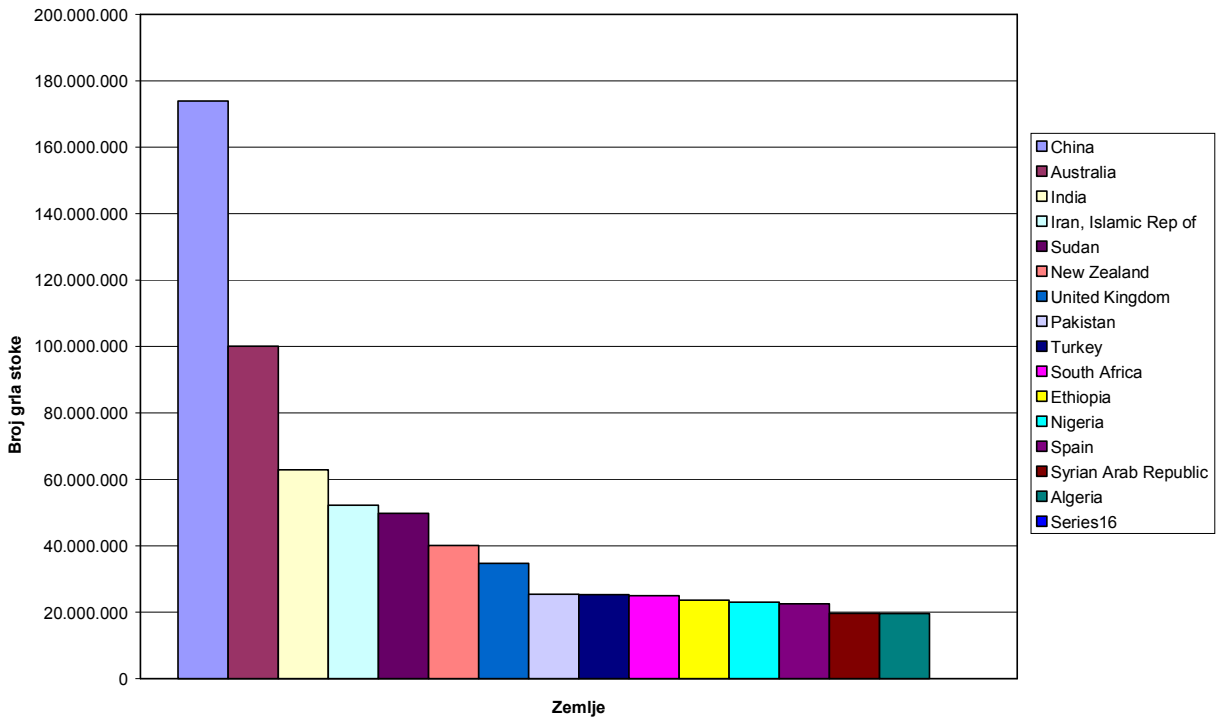
Iz osnovne namjene proizlazi da se za ovakav brod zahtjeva što veća površina za smještaj stoke te sustavi i uređaji za hranjenje stoke, pojenje stoke i dovod svježeg zraka. Zahtjev za što većom površinom implicira da će brod imati veći broj paluba na kojima se smješta stoka. Stoka se smješta unutar torova. 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

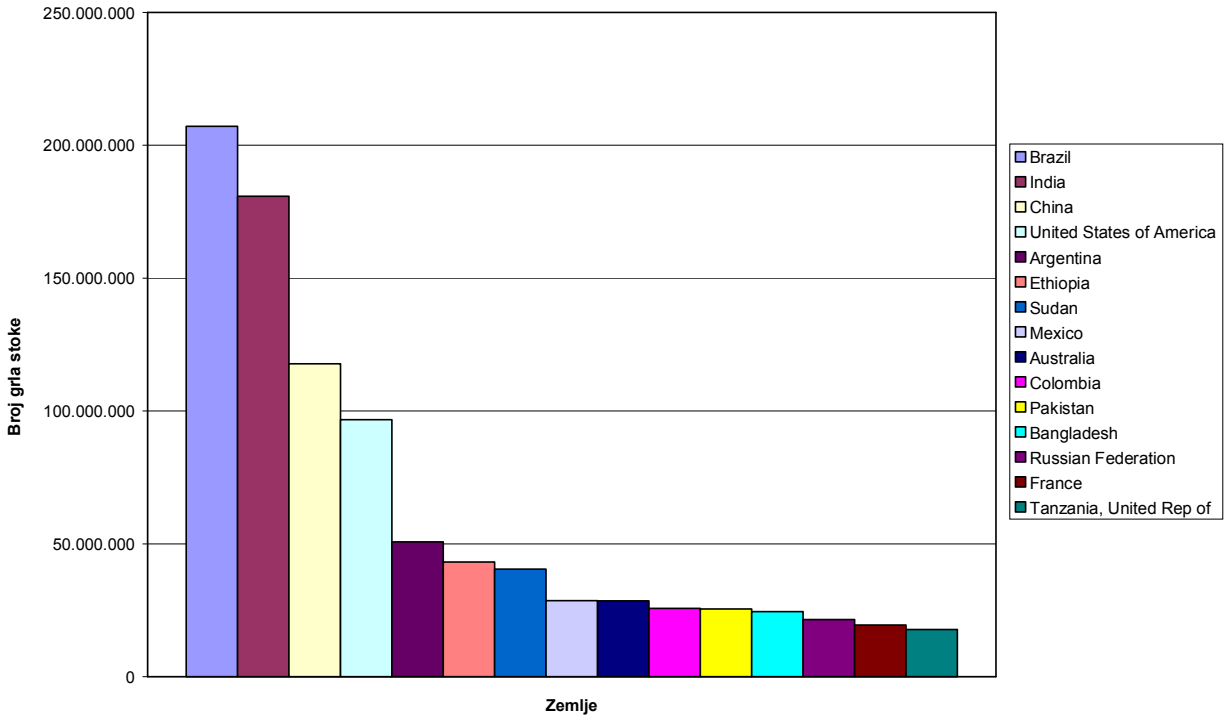
Pobliže definiranje okoline u kojoj će brod vršiti svoju službu, omogućuje bolje razumijevanje projektnih zahtjeva. Rast stanovništva u svijetu uzrokuje sve veće potrebe za hranom - hranom koju sve zemlje ne mogu u dovoljnoj mjeri proizvesti za potrebe stanovništva. Takve zemlje primorane su hranu uvoziti 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;

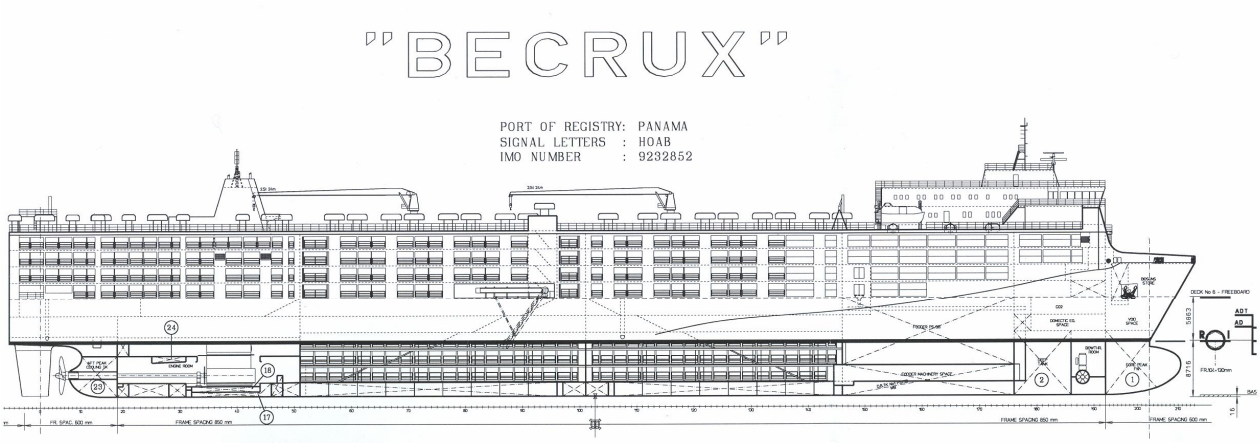
d) popis opreme i rasporeda prema Form 1, Appendix 1 [4].

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.

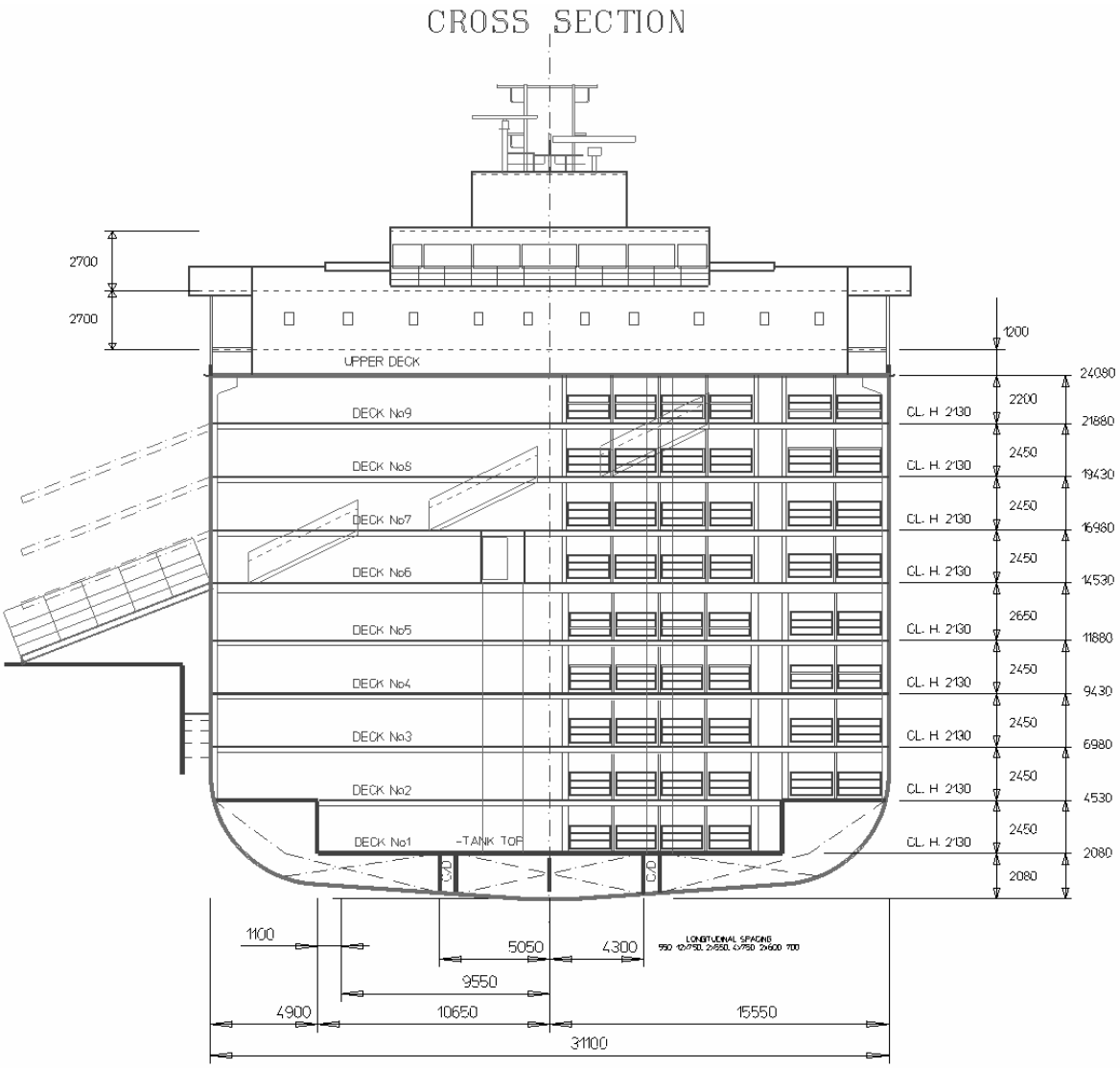
Tablica 6. Raspored poprečnih pregrada

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

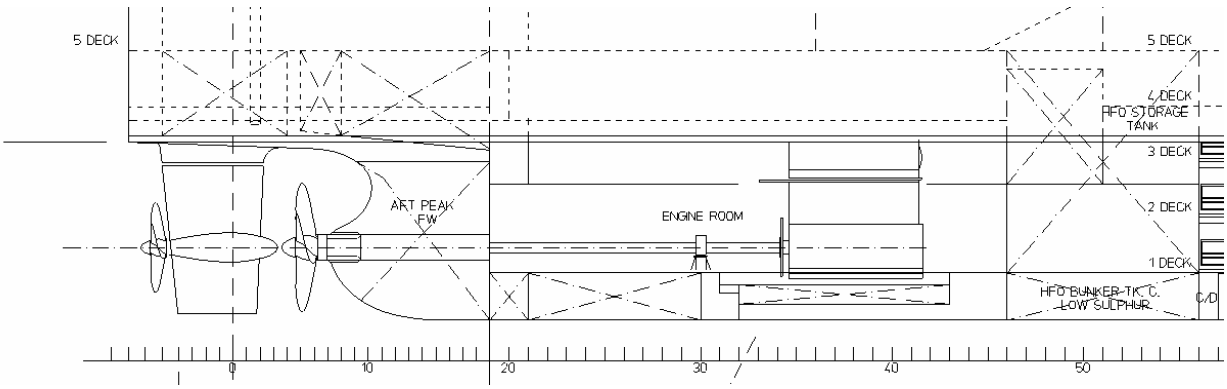
Brodovlasnik u skladu sa svojom poslovnom politikom traži rješenja koja će mu omogućiti kupovinu kvalitetnog, sigurnog i funkcionalnog broda, ali prije svega ekonomski isplativog. Kako je već prije objašnjeno, isplativost je glavni razlog izmjena na ovom projektu.

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	%

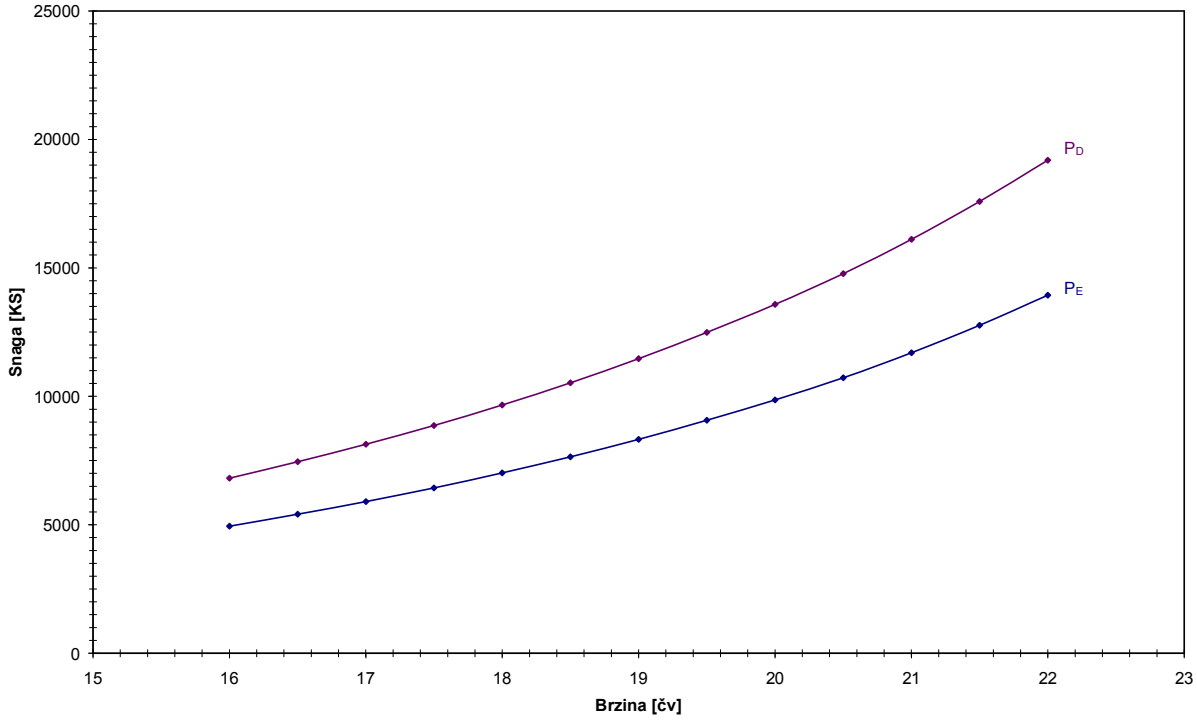
Napomena: Proračun je proveden aplikacijom 'speed.exe'. Ispitivanjem mjerne milje na pokusnoj plovidbi gradnje 428 pokazalo se da stvarna brzina odstupa za određeni iznos od brzine predviđene ovom aplikacijom, stoga je potrebno dobiveni iznos brzine pomnožiti s korekcijskim faktorom. Korekcijski faktor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

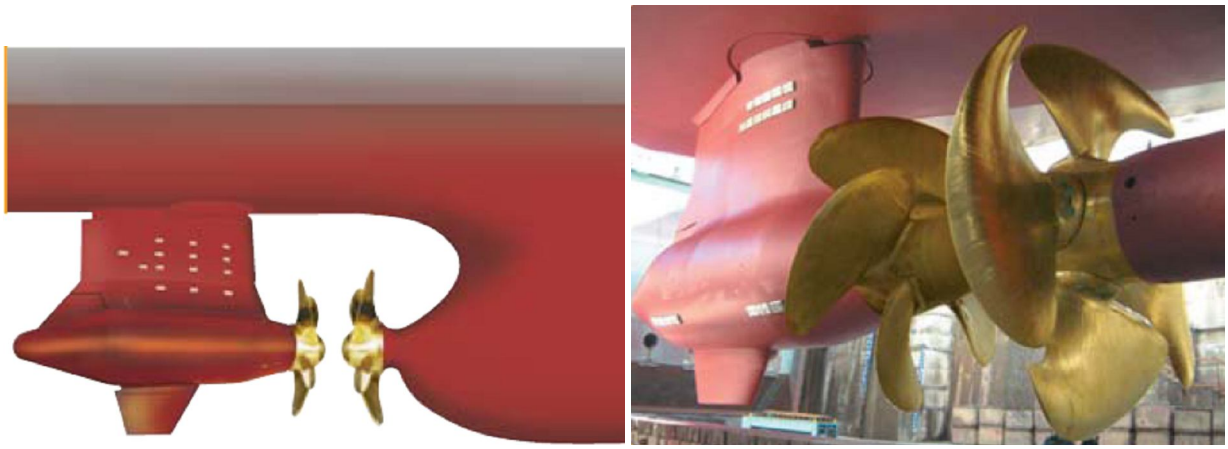
1. ugradnja dvije simetrične strojarnice, potpuno odvojene, s dva pogonska stroja jednakih snaga;
2. uz postojeću strojarnicu sa glavnim pogonskim strojem ugraditi manju strojarnicu u kojoj će biti svi uređaji potrebni za pogon vijka pomoćne propulzije u aktivnom kormilu – POD, tzv. azimutni propeler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

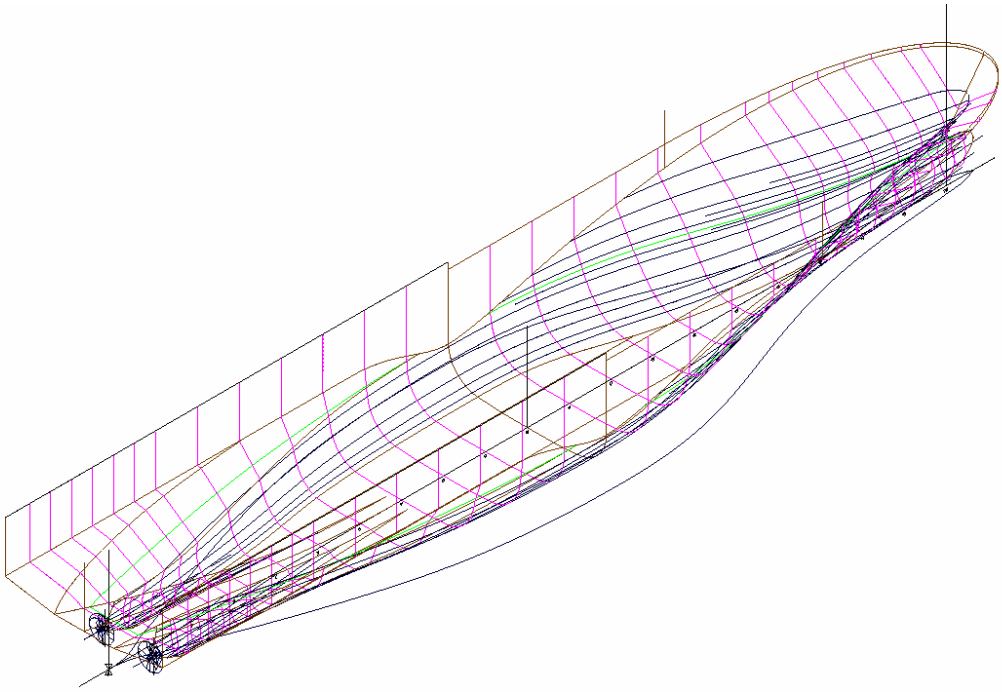
2. Eksploatacijske prednosti:
   - Manji utrošak goriva
   - Manje emisija, ekološki prihvatljiviji pogon
   - Bolja upravljivost u lukama, kanalima uz znatne uštede vremena
   - Manja potreba za remorkerima u lukama
   - Veća sigurnost u slučaju havarije glavnog stroja

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

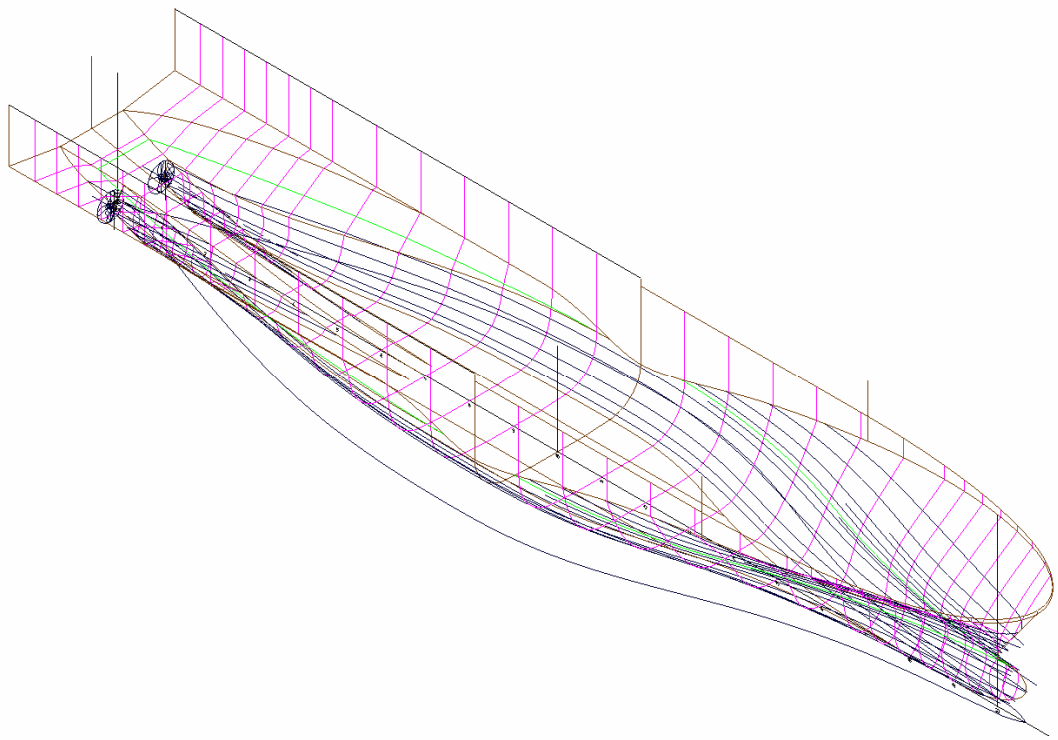
Ovi podaci su, naravno, na strani proizvođača navedenog tipa pogona, ali sljedeći usporedbeni proračun pokazat će da su uštede na ugrađenoj snazi, prostoru i masi zaista na strani pogona u kombinaciji sa aktivnim kormilom.

4.2.3 Pogon pomoću dva stroja jednakih snaga – dvostruka strojarnica

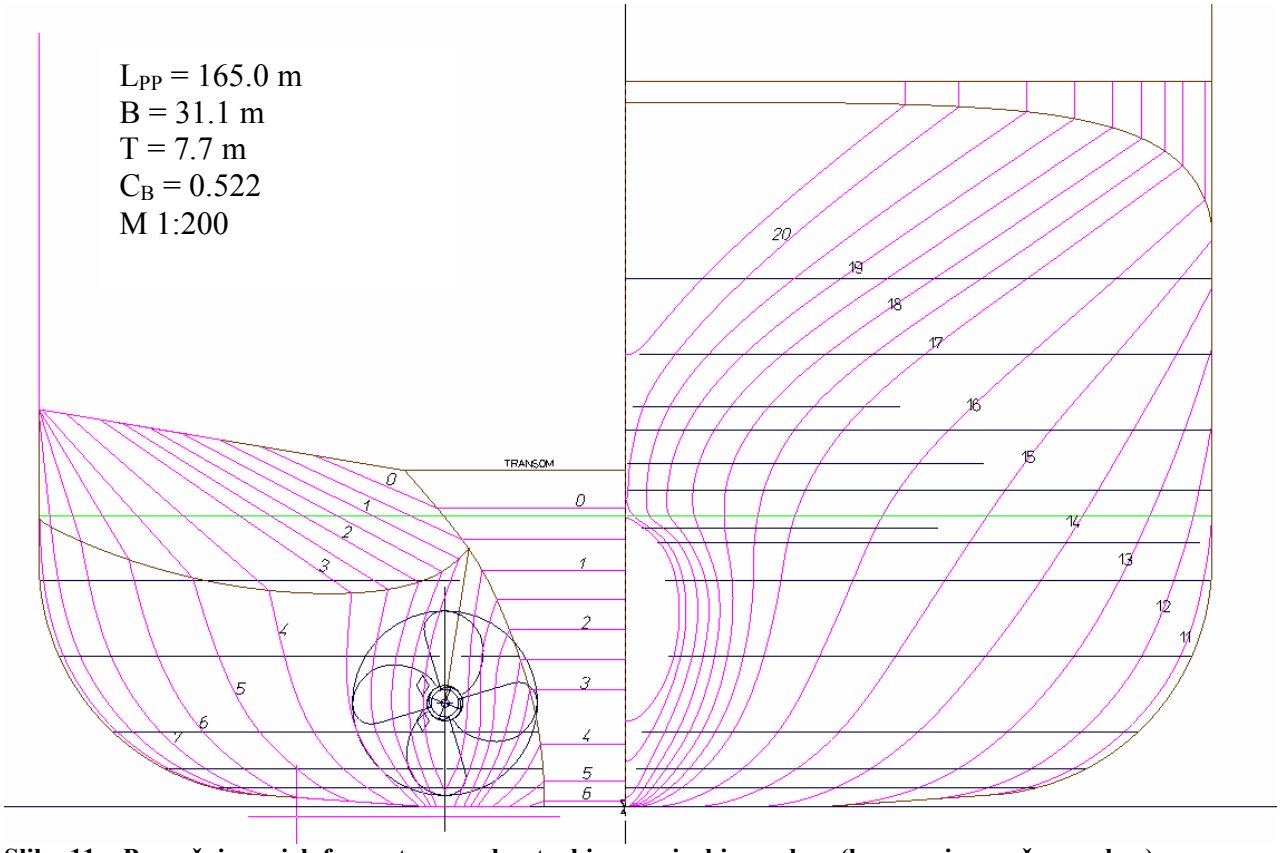
Prvo rješenje podrazumijeva ugradnju dva pogonska stroja jednakih snaga. U slučaju kvara jednog stroja ili strojarnice, druga strojarnica, potpuno nezavisna od prve, omogućila bi brodu sigurno pristizanje do bliže luke, s nešto smanjenom brzinom, ali bez opasnosti od stradavanja stoke. Ovakvo rješenje 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

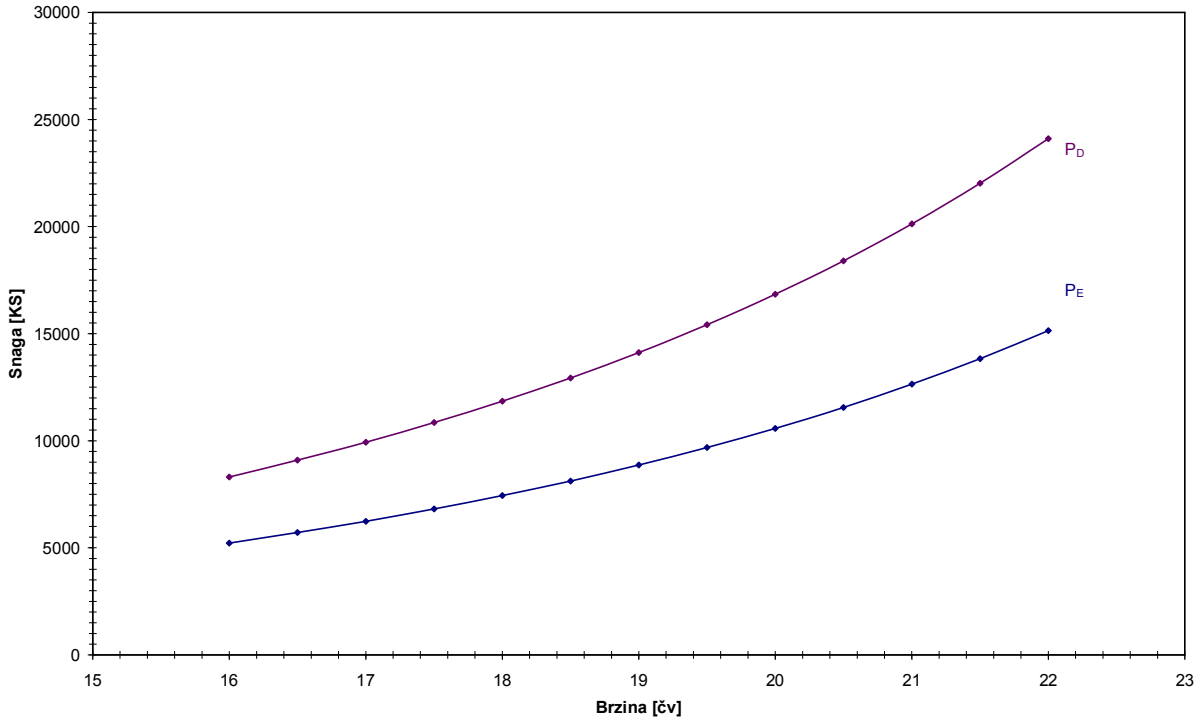
Tablica 16. Ulazni podaci za prognozni dijagram – dva pogonska stroja 2x 5S46MC-C8

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.

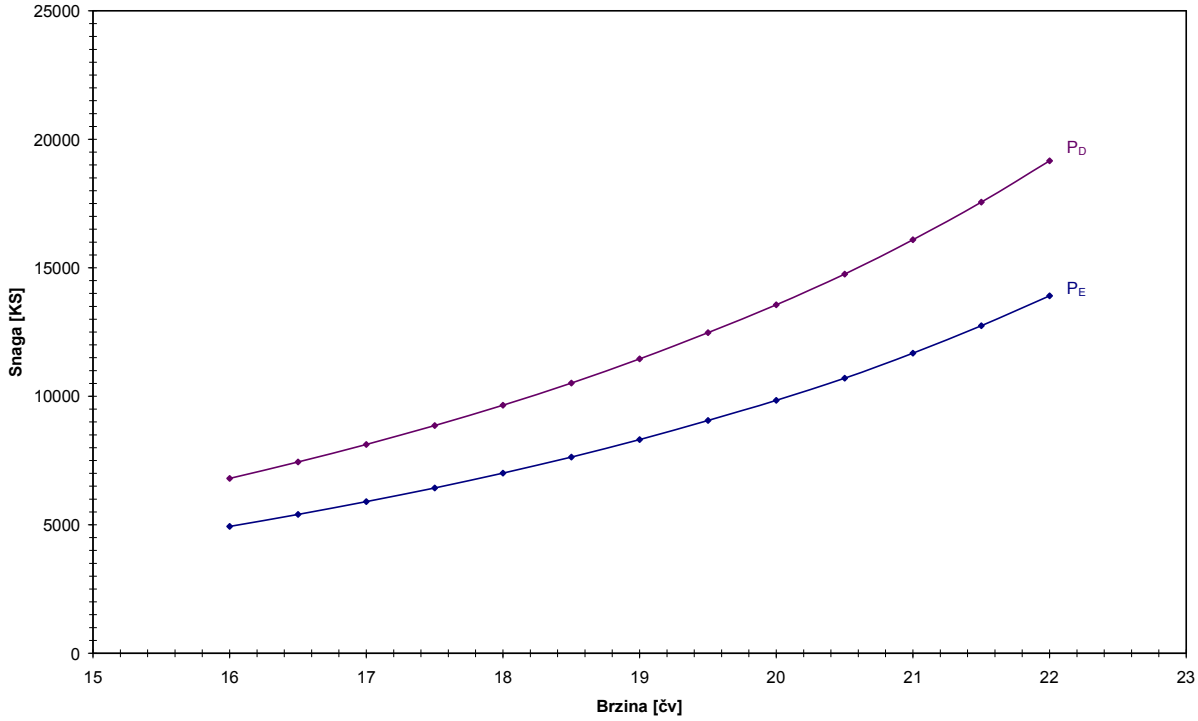
Tablica 18. Izlazni podaci i prognoza brzine – pogonski stroj 6S50MC-C

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

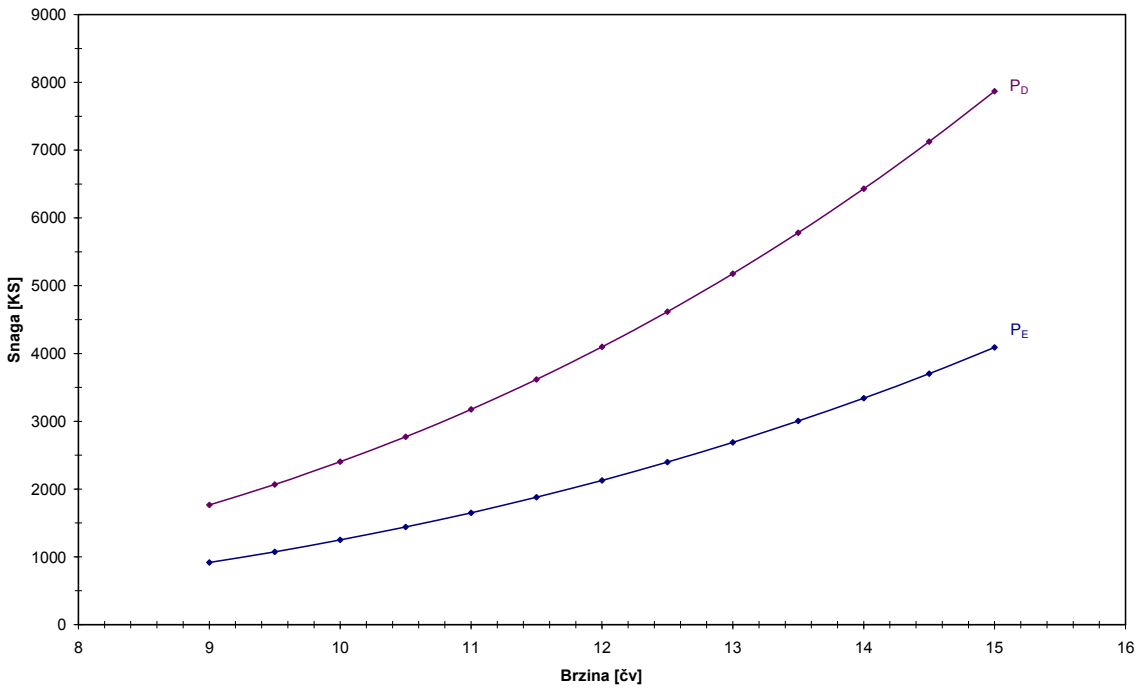
PROPELER:			
Broj propelera		1	
Broj krila propelera		4	
Broj okretaja	N_T	250	o/min
Rezerva snage za službu	S_M	15	%

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

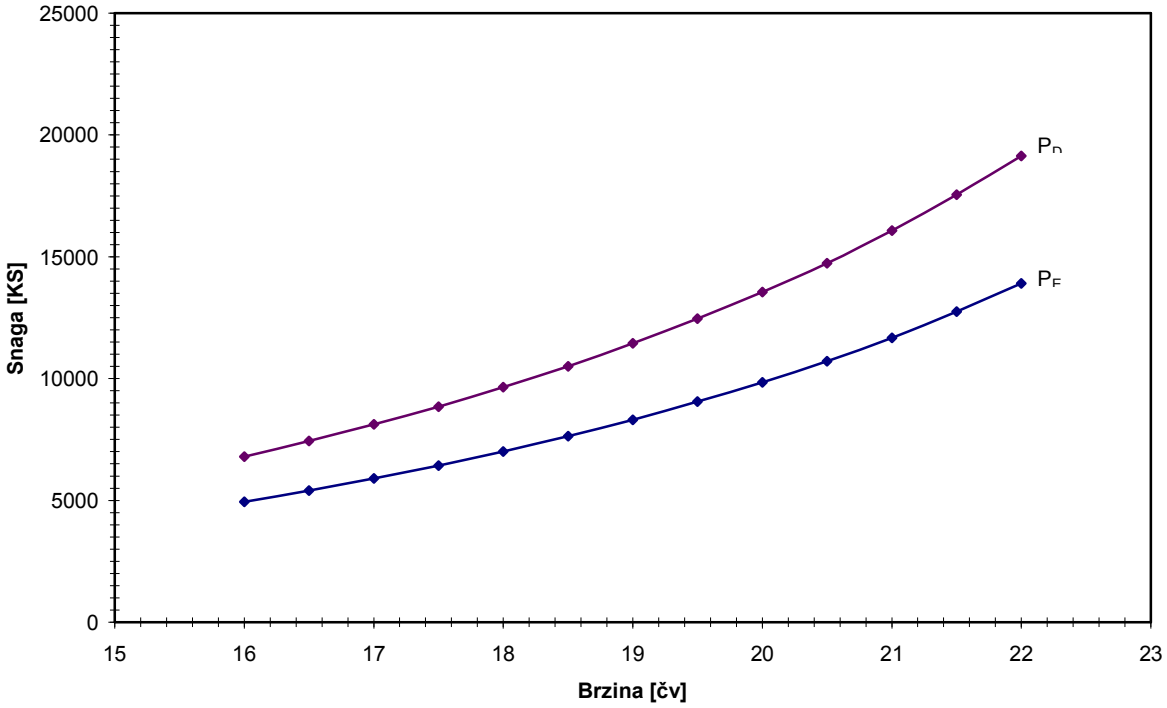
6S50MC-C(Mk8) 90% MCR 8532 kW + POD 2000 kW			
TRUP:			
Duljina vodne linije	L_{WL}	169,6	m
Duljina između okomica	L_{PP}	165	m
Širina	B_M	31,1	m
Projektni gaz	T_M	7,7	m
Blok koeficijent	C_B	0,514	
Koeficijent punoće glavnog rebra	C_M	0,91	
Položaj težišta istisnine od $L_{PP}/2$		-0,96	%
BULB		DA	
Srednji 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

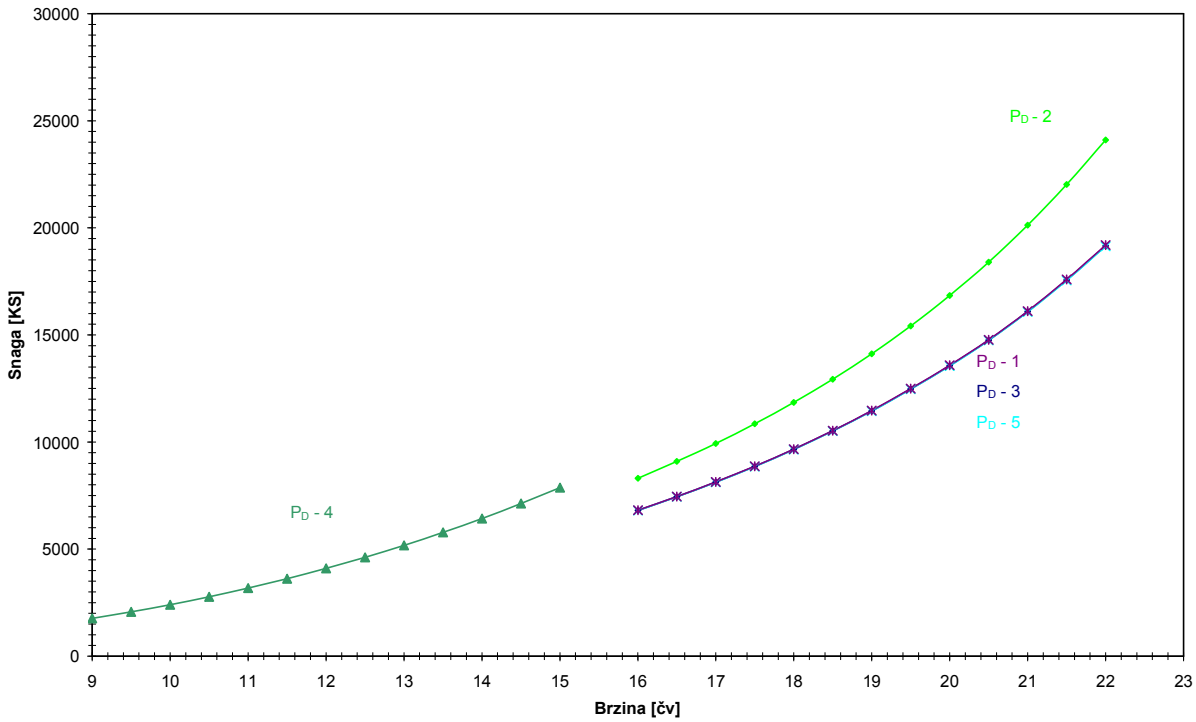
4.2.5 Analiza varijanti pogona

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.

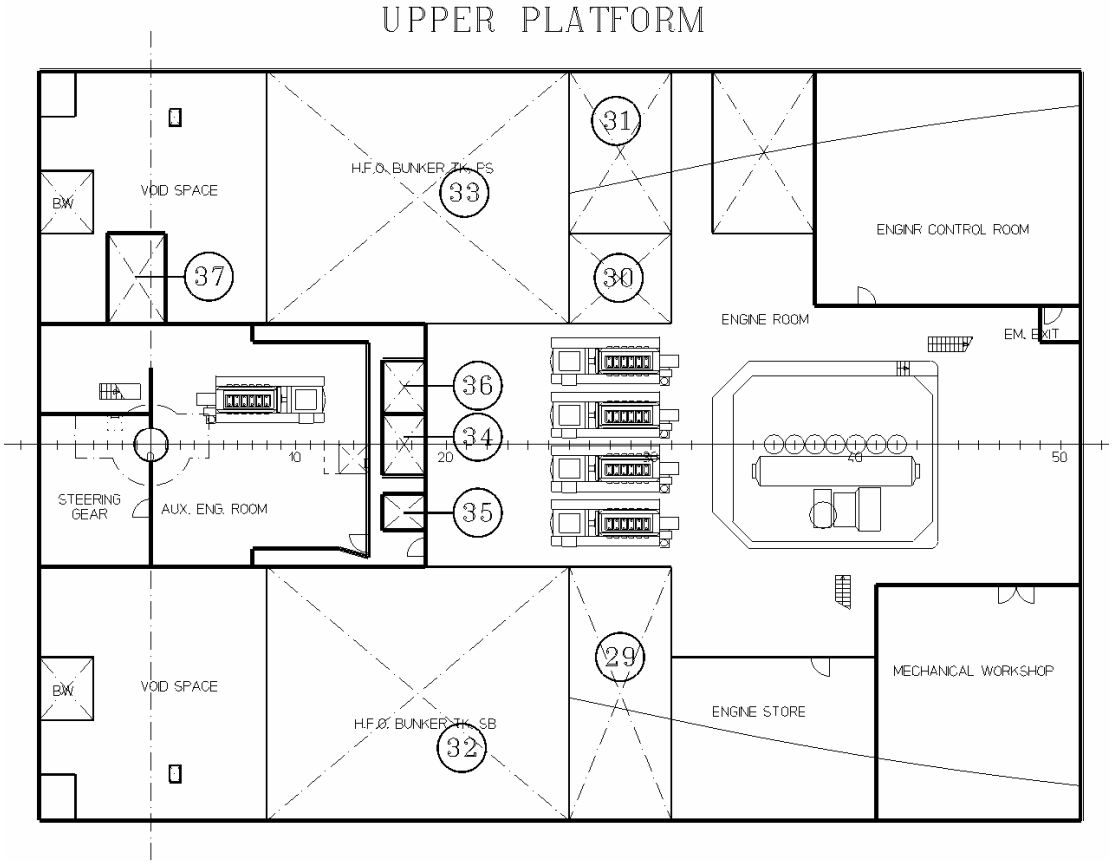
Međutim, osnovni razlog ugradnje aktivnog kormila je pomoćna propulzija, odnosno u slučaju kvara glavnog stroja ili havarije strojarnice, brod mora dopremiti stoku u najbližu luku i time osigurati preživljavanje stoke, odnosno sigurnost tereta. U najgorem slučaju glavni stroj se može zaustaviti na pola 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.

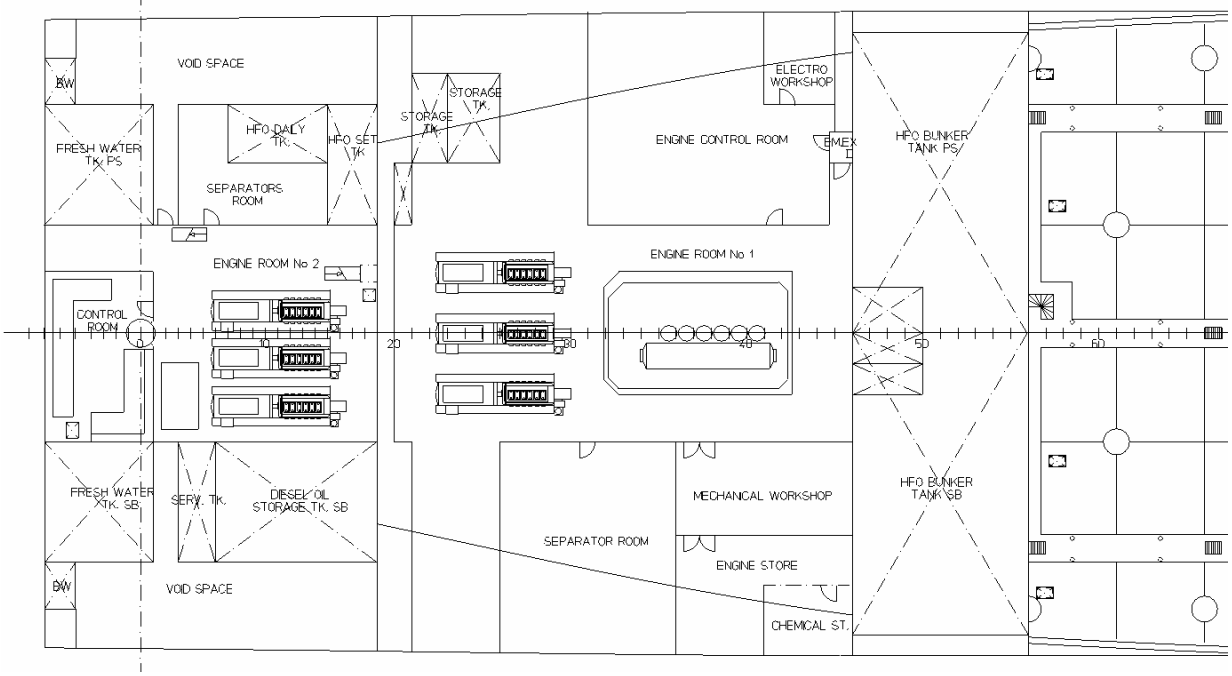
4.2.6 Smještaj nove strojarnice

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

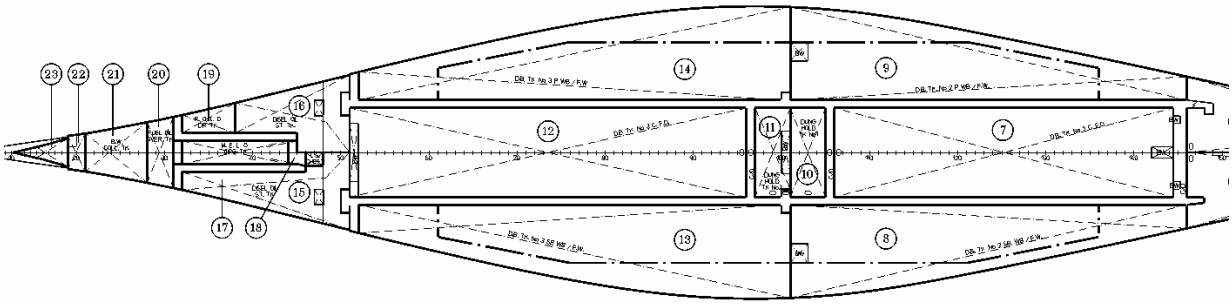
U strojarnici broj 2 smješteni su generatori, uređaji i kontrolna soba potrebni za upravljanje aktivnim kormilom. Vidljivo je da je i strojarnica br. 1 skraćena za 5 razmaka rebara (R. 19-46) zbog kraćeg motora, ali i zbog smještaja tankova teškog goriva koji sad više nisu u prostoru same strojarnice 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

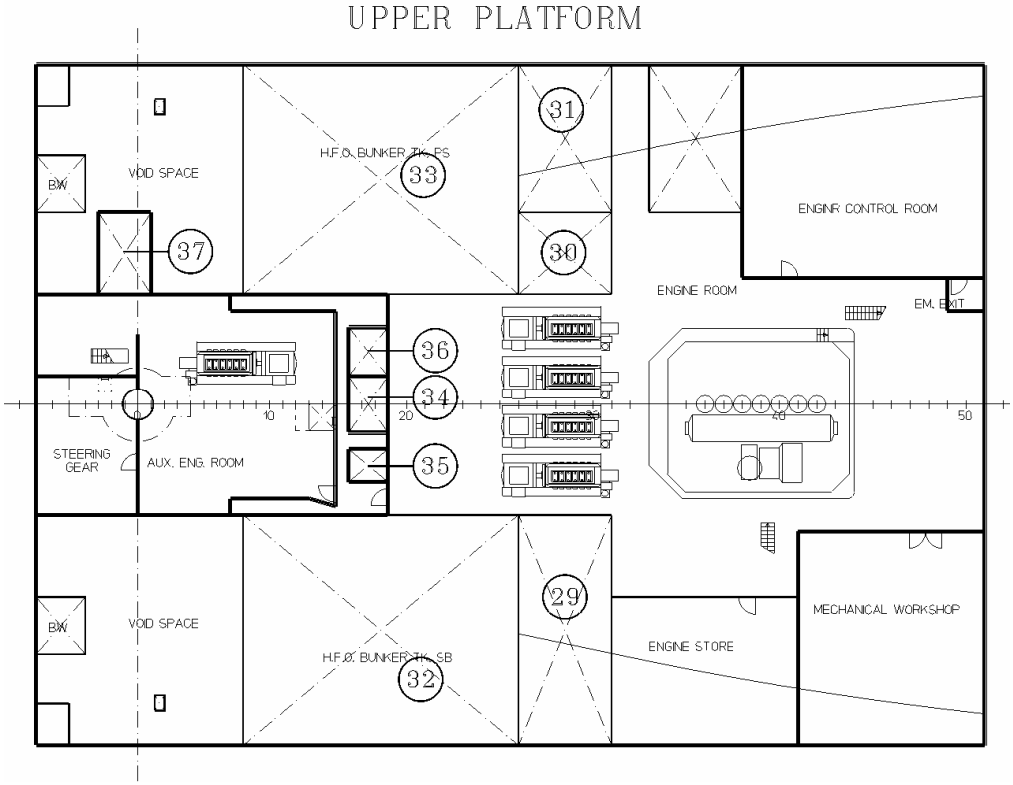
Prema novim pravilima MARPOL, postojeći raspored tankova na gradnji 428 ne zadovoljava nove sigurnosne propise te je potrebno napraviti određene izmjene. Načelno, svi tankovi goriva veći od 30 m^3 moraju se odmaknuti od vanjske oplate za određeni definirani izraz prema pravilima. Drugo rješenje je da 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

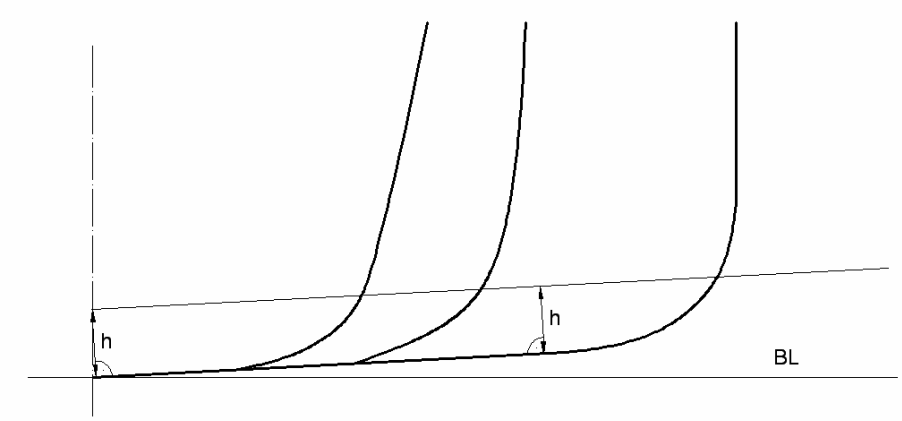
Najjednostavnije rješenje bilo bi da se tankovi odmaknu od vanjske oplate za iznos definiran u pravilima. Točke 6 i 7 prema [6] propisuju slijedeće dimenzije:

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.

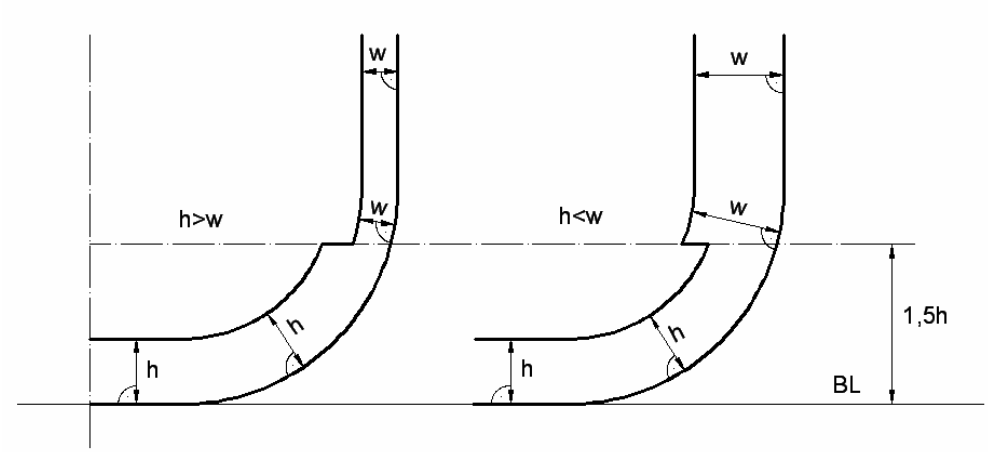


Slika 22. Granica tankova goriva prema točki 6

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

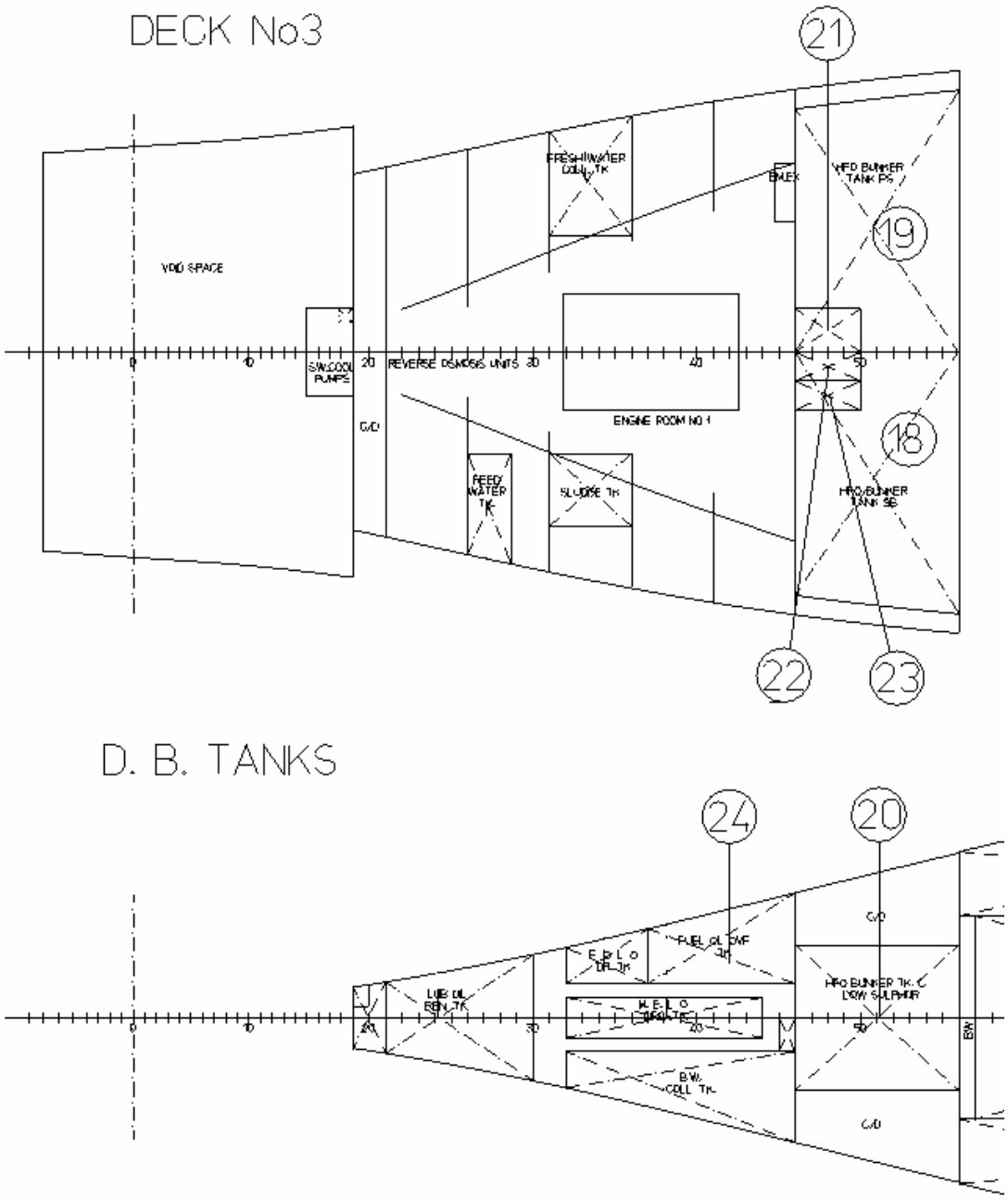
Ako se usporedi visina dvodna koja iznosi 2080 mm s minimalnom potrebnom visinom od 1555 mm koliko bi bilo potrebno odmaknuti tankove goriva u dvodnu od oplate dna, vidljivo je da bi se volumen tankova značajno umanjio te više ne bi mogao sadržavati dovoljnu količinu goriva bez zadiranja u teretni prostor 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.

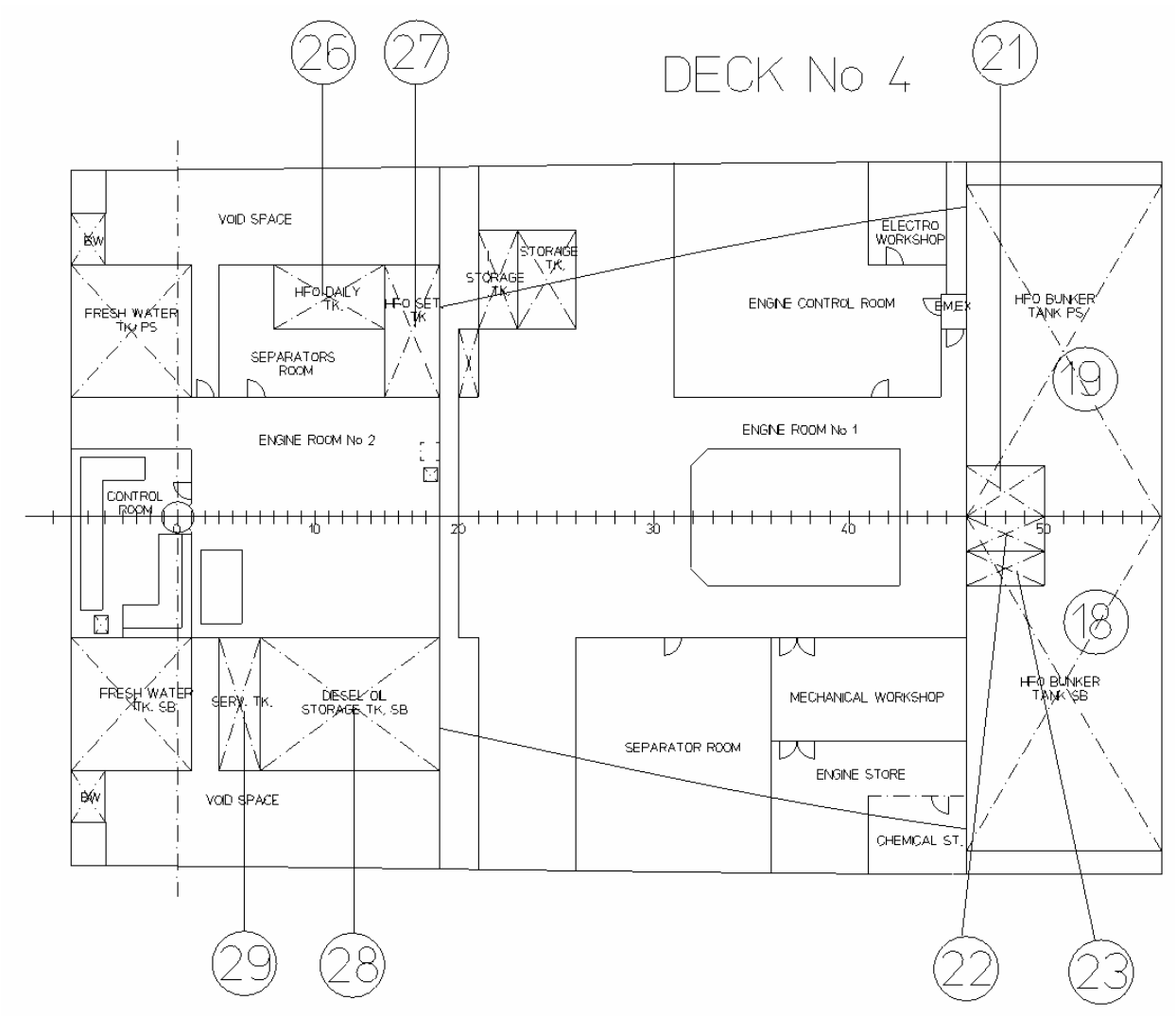
Prema savjetu projektanta iz 'Uljanika', najprihvatljivije rješenje za smještaj tankova teškog goriva pokazalo se ono u kojem se tankovi smještaju vertikalno u prostoru ispred pramčane pregrade strojarnice. Strojarnica se na projektu skraćuje za 5 razmaka rebara, a tankovi goriva se protežu na ukupnu 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.

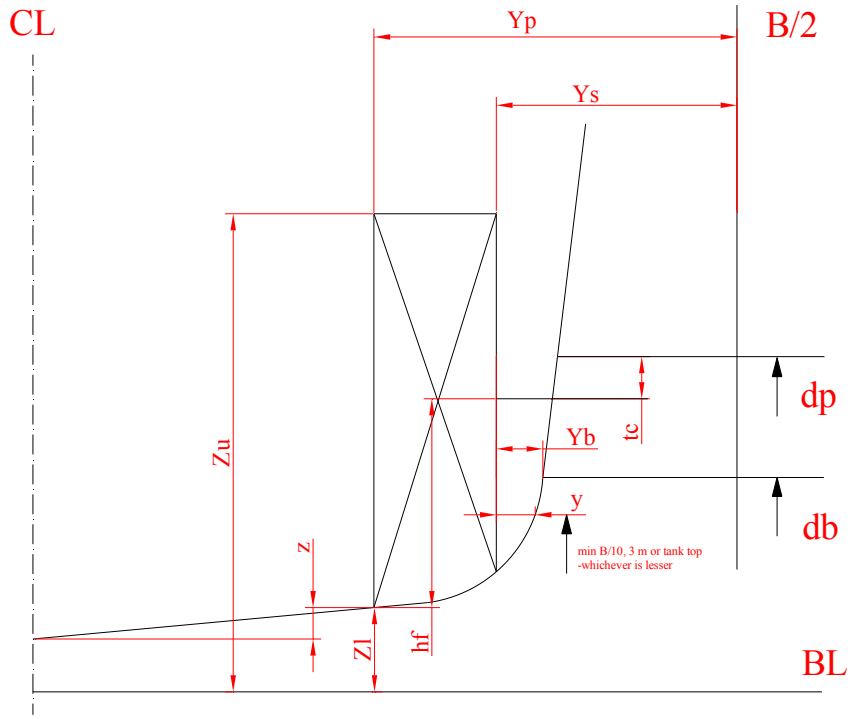
Z_u [m] - vertikalna udaljenost između teoretske osnovice i najviše točke promatranog tanka. Ako je Z_u veća od veličine D_S, Z_u treba uzeti kao D_S.

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	NO. Tk.	Tank	Xa	Xf	Yp	Ys	y	Yb	A	Zl	Zu	z	Cdb	Os
			M	m	m	m	m	m	m^2	m	m	m	0.6 or 1	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
		EXCLUDED TANKS <30m³	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											

PRORAČUN	Oms	Hw	OmB	Om	max OM			
	m^3	m	m^3					
	0,19	0,74	2,98	0,00088	0,0132805	OK		
	33,91	0,90	3,89	0,00749	0,0132805	OK	0,00837	OK
	3,87	0,40	3,60	0,00175	0,0132805	OK	0,01012	OK
	0,00	0,40	0,00	0,00000	0,0132805	OK	0,01012	OK
	0,00	0,40	0,00	0,00000	0,0132805	OK	0,01012	OK
	0,01	0,40	0,00	0,00000	0,0132805	OK	0,01012	OK
	0,51	0,63	0,00	0,00010	0,0132805	OK	0,01021	OK

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

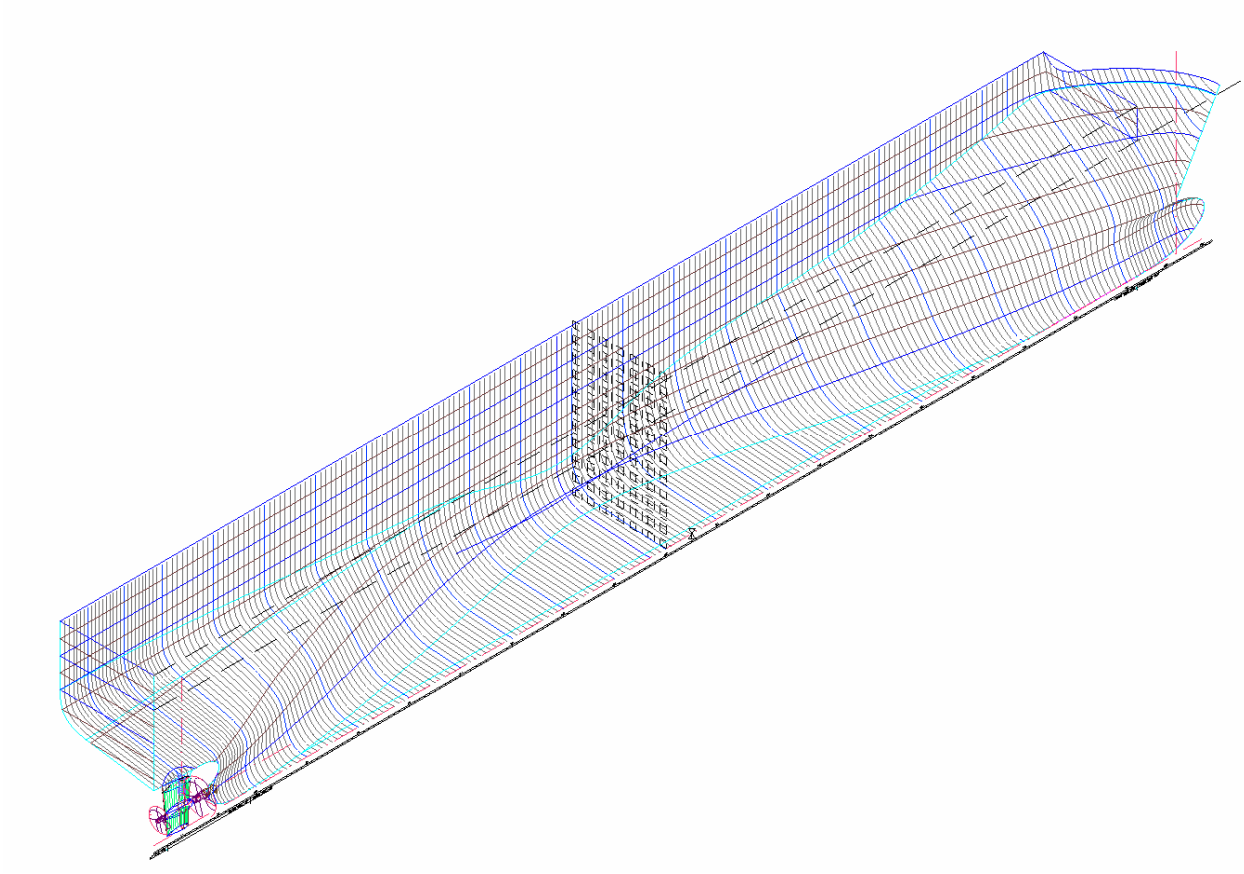
U ovom podsustavu vrši se proračun stabiliteta u oštećenom stanju. U ulaznoj datoteci definiraju se slučajevi oštećenja prema pojedinim zonama (prema pregrađivanju broda) te se definiraju koji tankovi se u pojedinim slučajevima oštećuju. Izlazna datoteka sadrži podatke o zadovoljenju kriterija stabiliteta 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.



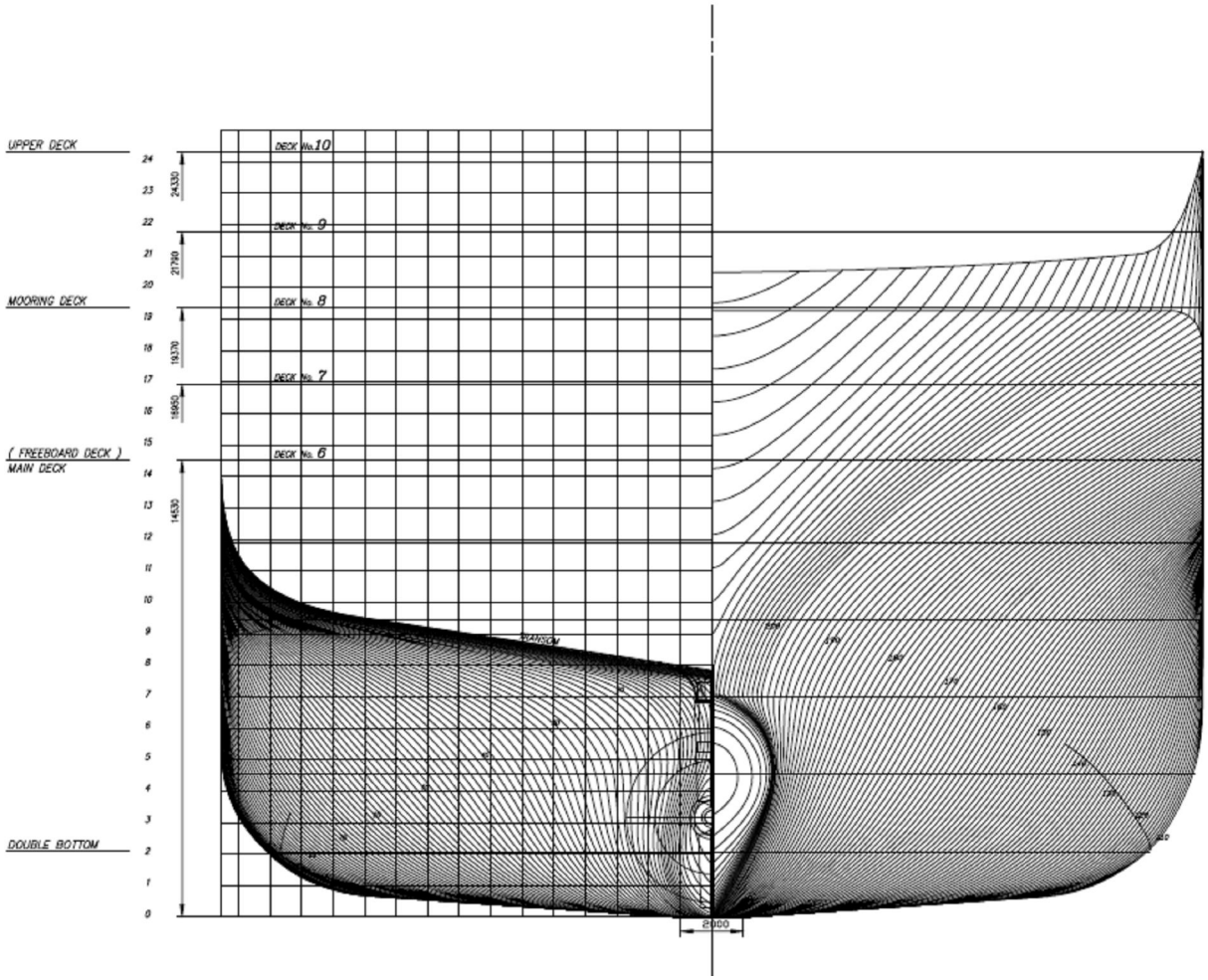
Slika 27. 3D model forme

FRAME SPACING

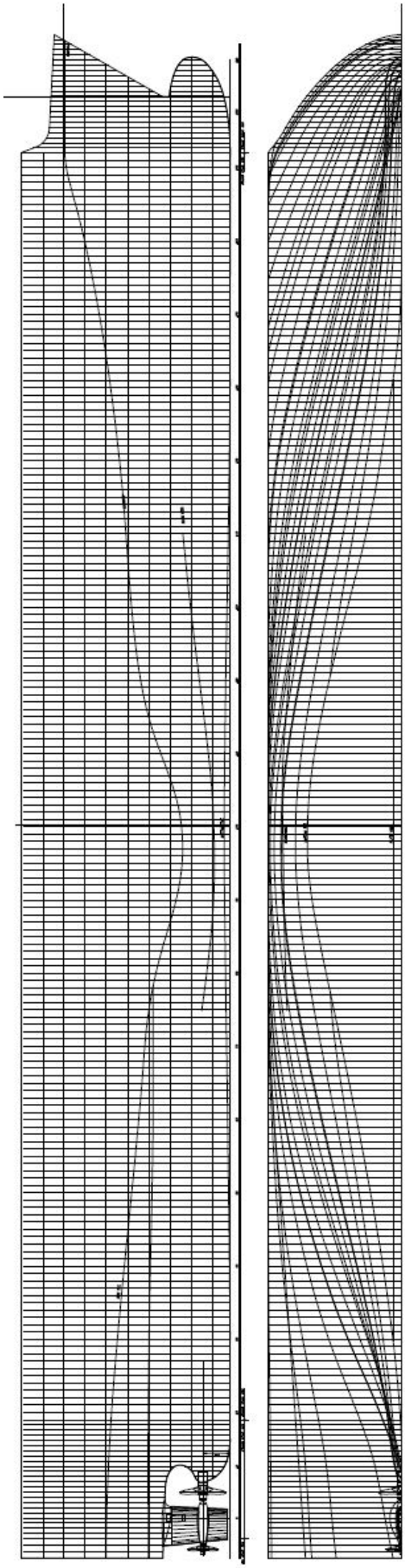
FRAME-4 – 19	600
19 –192	850
192 – 213	600

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

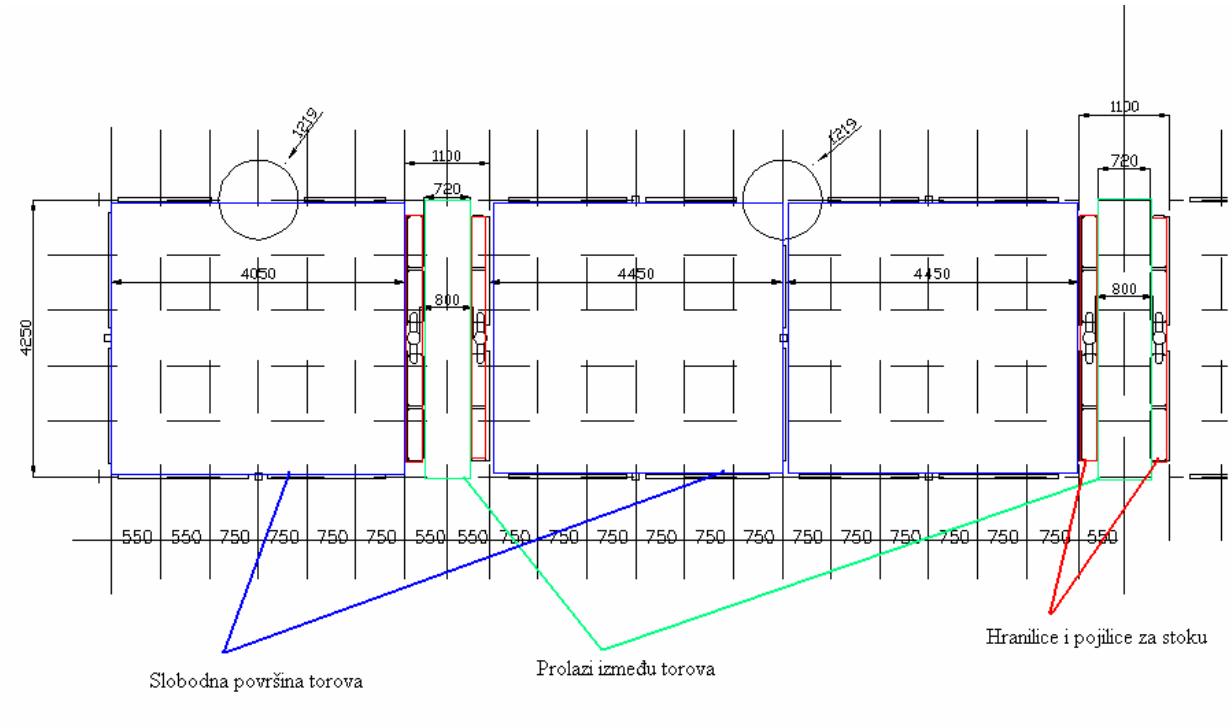
Broj odijeljka	Ime odijeljka	Volumen	Udaljenost težišta od		
			LPP/2	osnovice	CL-a
		m^3	m	m	m
1	Fore Peak WB	493	79,89	9,541	0
2	Deep Tank WB/Dung Holding	422,9	65,26	6,722	-0,039
43	Dung Transver Tank	74	57,75	0	0
3	DB/Wing Tk No1 SB WB	262,6	45,57	2,255	3,643
4	DB/Wing Tk No1 PS WB	262,6	45,57	2,255	-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.

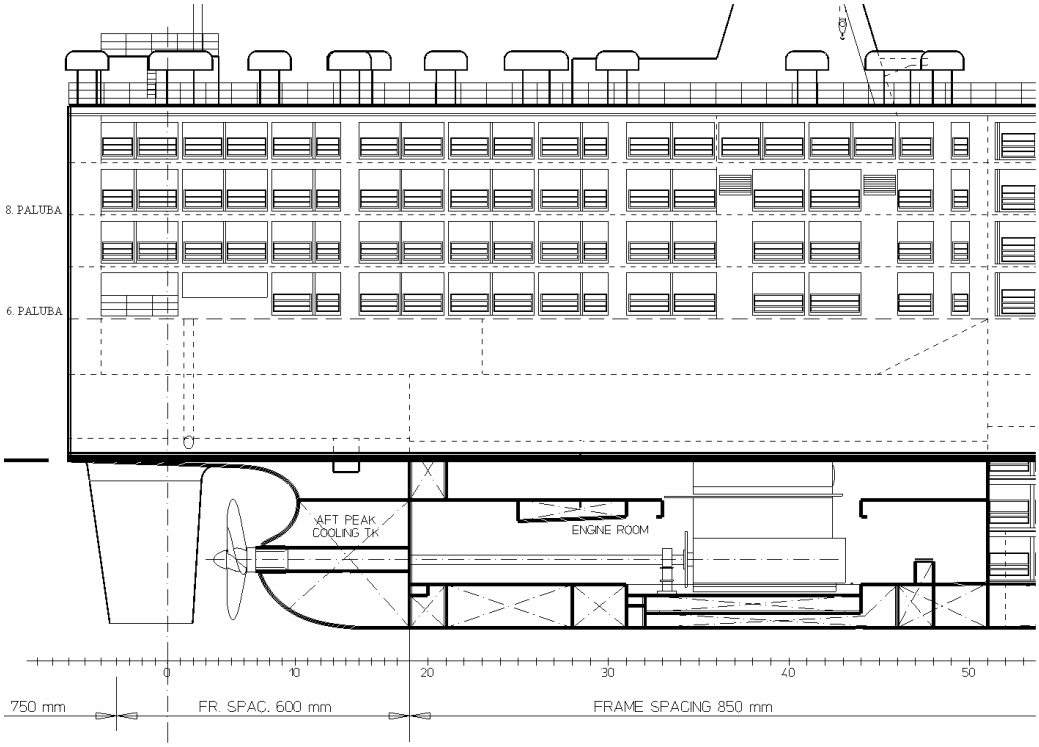
Ulazni podaci sastoje se iz dva dijela. U prvom dijelu unose se opći podaci o brodu: glavne dimenzije, brzina, razmak rebara i sl. te momenti savijanja broda na mirnoj vodi prema stanjima krcanja koja su obrađena kasnije. Drugi dio ulaznih podataka sastoji se od generiranja geometrije poprečnog presjeka-glavnog 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.

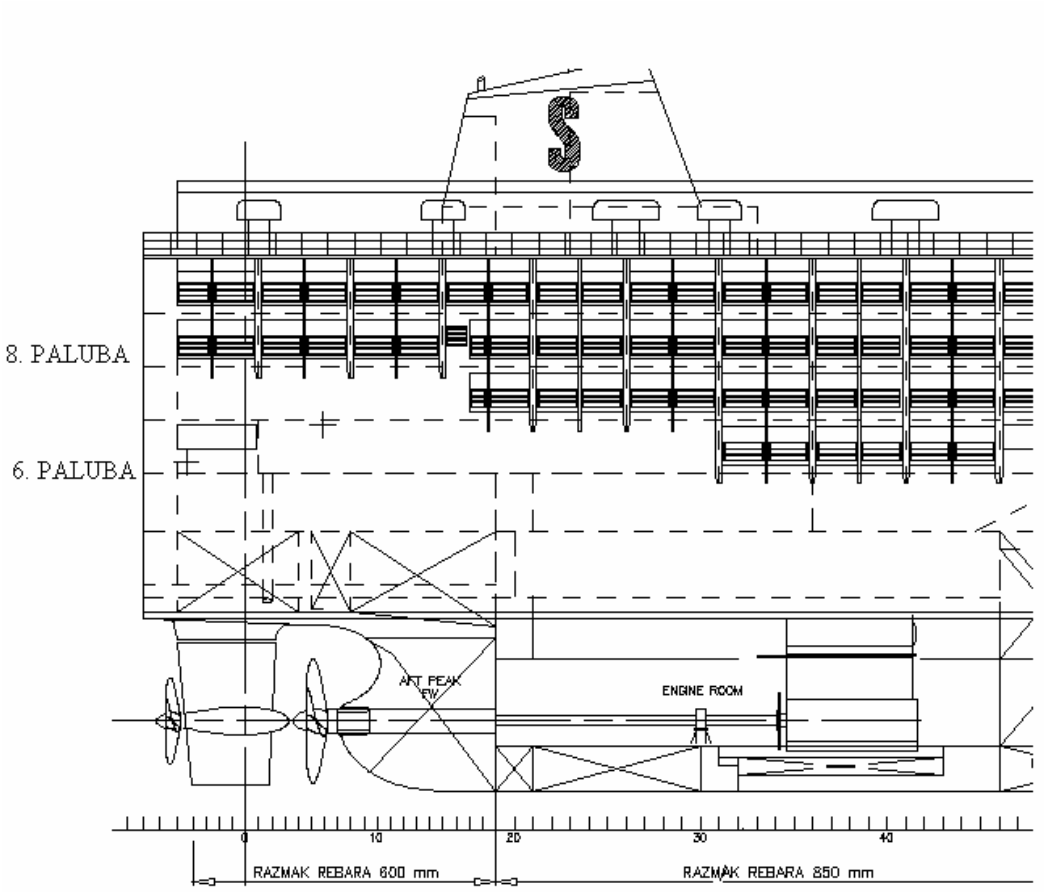
5.5.1 Usporedba s gradnjom 428

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:

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

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

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

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]	σ_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.	σ [N/mm^2]	σ_{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]	σ_d [N/mm^2]	σ_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

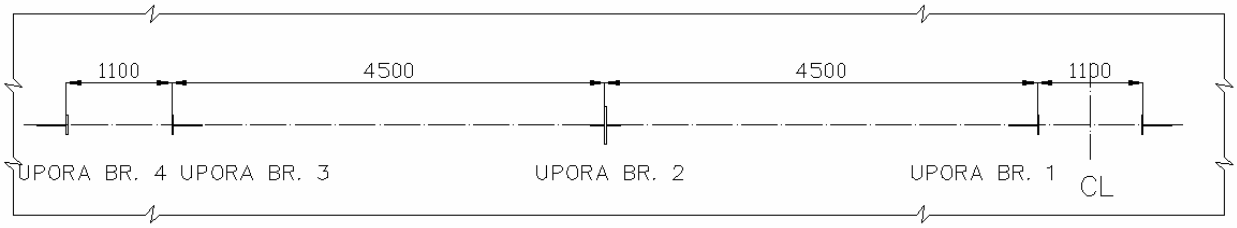
q_t - opterećenje tereta

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):

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

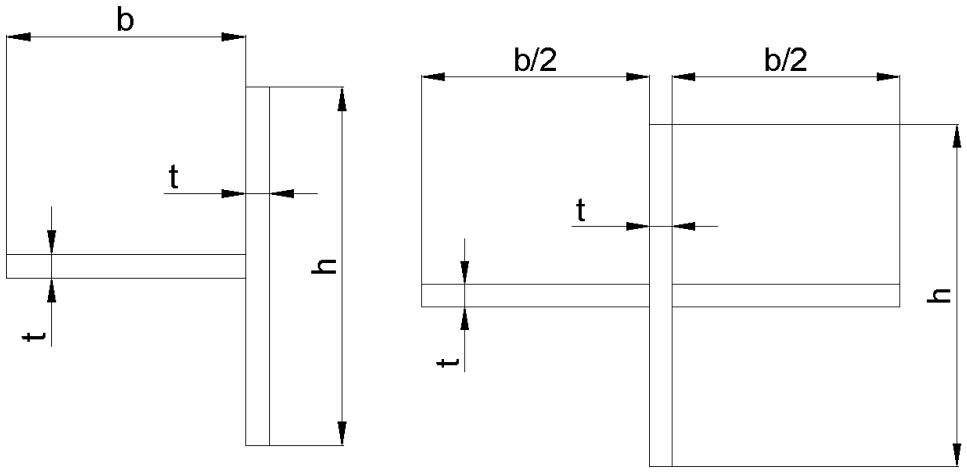


Slika 33. Raspored upora

Tablica 31. Dimenzije i opterećenja upora

Dimenzije upore br. 1												
	l	struk		pojas		A_p	A_{min}	F	σ_a	σ_{acr}	η_a	$\eta_a \leq 0,6$
	[m]	h [mm]	t [mm]	b [mm]	t [mm]	[cm²]	[cm²]	[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**	**σ_a**	**σ_{acr}**	**η_a**	**$\eta_a \leq 0,6$**
	[m]					**[cm²]**	**[cm²]**	**[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**	**σ_a**	**σ_{acr}**	**η_a**	**$\eta_a \leq 0,6$**
	[m]	**h [mm]**	**t [mm]**	**b [mm]**	**t [mm]**	**[cm²]**	**[cm²]**	**[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**	**σ_a**	**σ_{acr}**	**η_a**	**$\eta_a \leq 0,6$**
	[m]	**h [mm]**	**t [mm]**	**b [mm]**	**t [mm]**	**[cm²]**	**[cm²]**	**[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

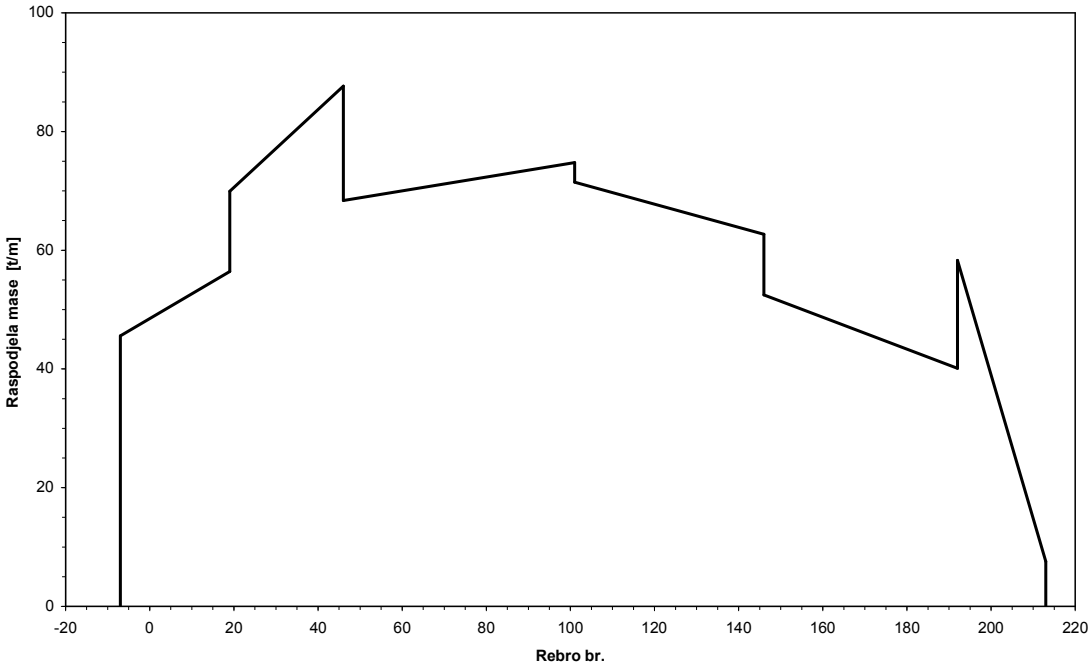
Vlastita masa broda: W_{LS} = 10751,0 t
Uzdužni položaj težišta vlastite mase broda: X_T = 76,155 m
Vertikalni položaj težišta vlastite mase broda: Z_T = 12,925 m

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

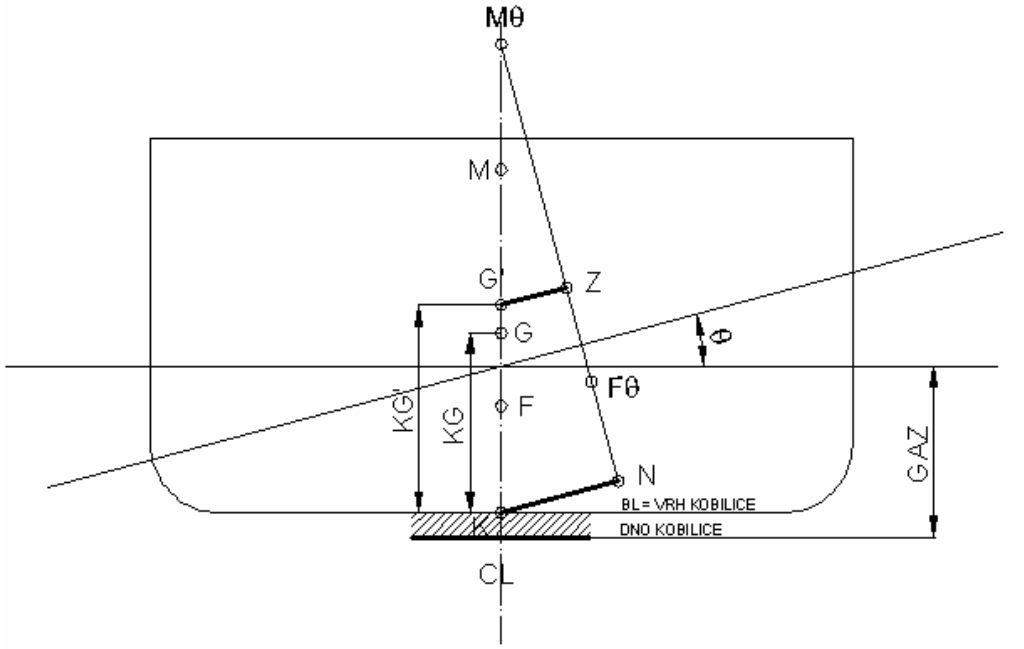
5.8 Stabilitet

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

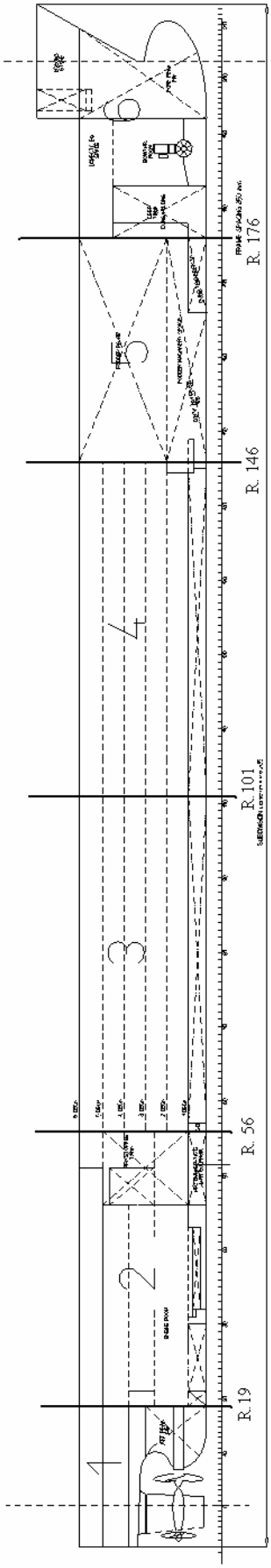
HEELING DIRECTION SB

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

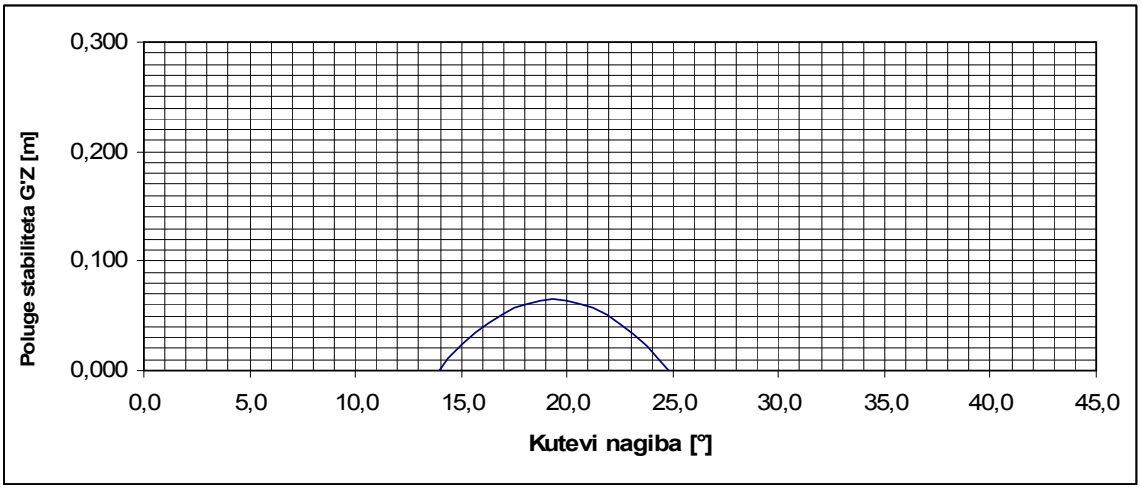
Gaz d_s = 8,461 m											
Slučaj oštećenja	**Nagib**	**Kut nagiba**	**Uron palube***	**Uron otvora****	**Max GZ**	**Raspon u stupnjevima**	**Min GM**	**Max KG**	**s – konačni*****	**Gaz - krma**	**Gaz - pramac**
11.00	SB	0,00	3,58	6,28	0,359	34,46	0,877	13,504	1,000	10,948	6,971
12.00	SB	13,93	-3,21	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								

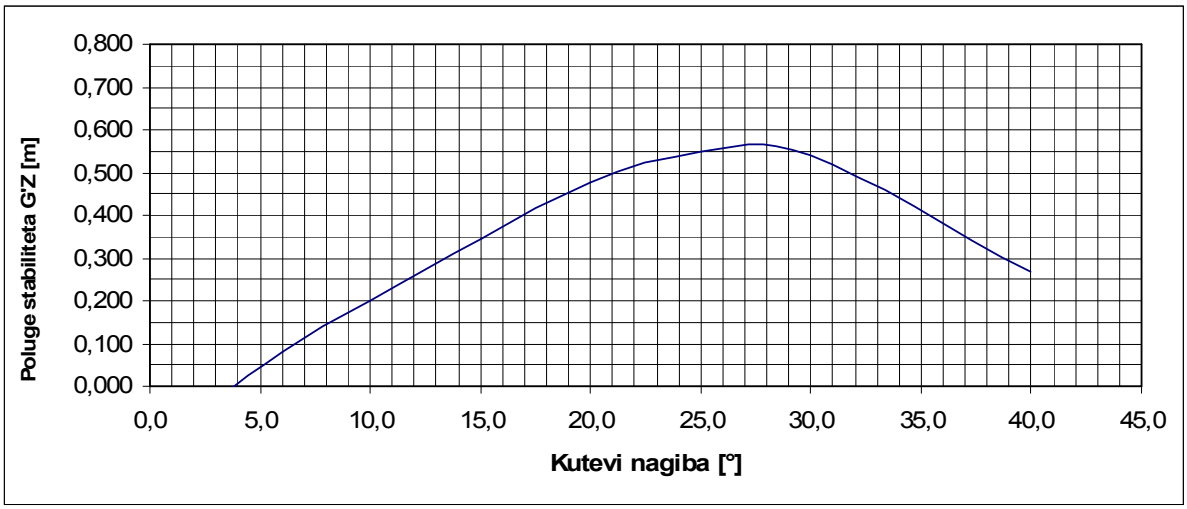
Tablica 43. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz d_p

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								

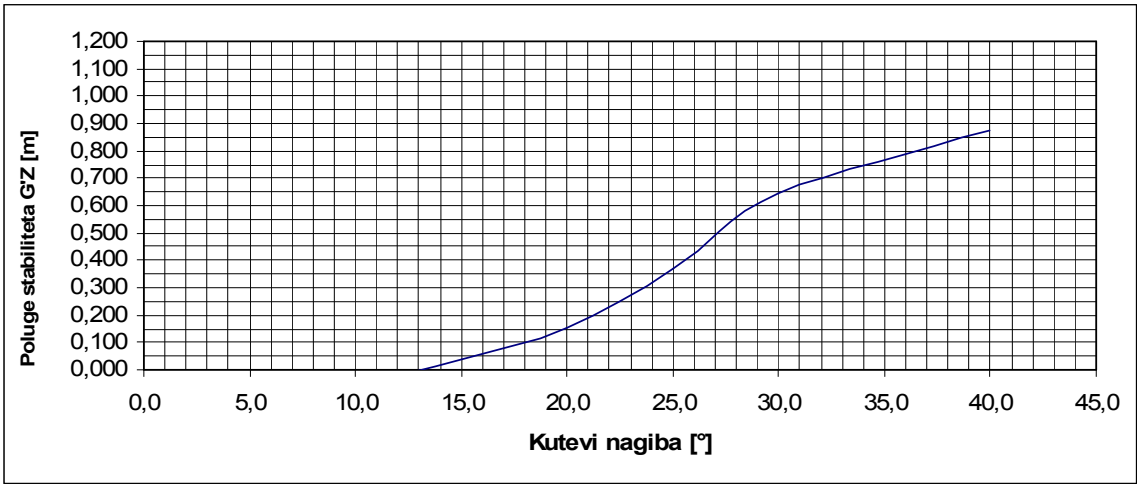
Tablica 46. Proračun stabiliteta u oštećenom stanju za gaz d_l

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



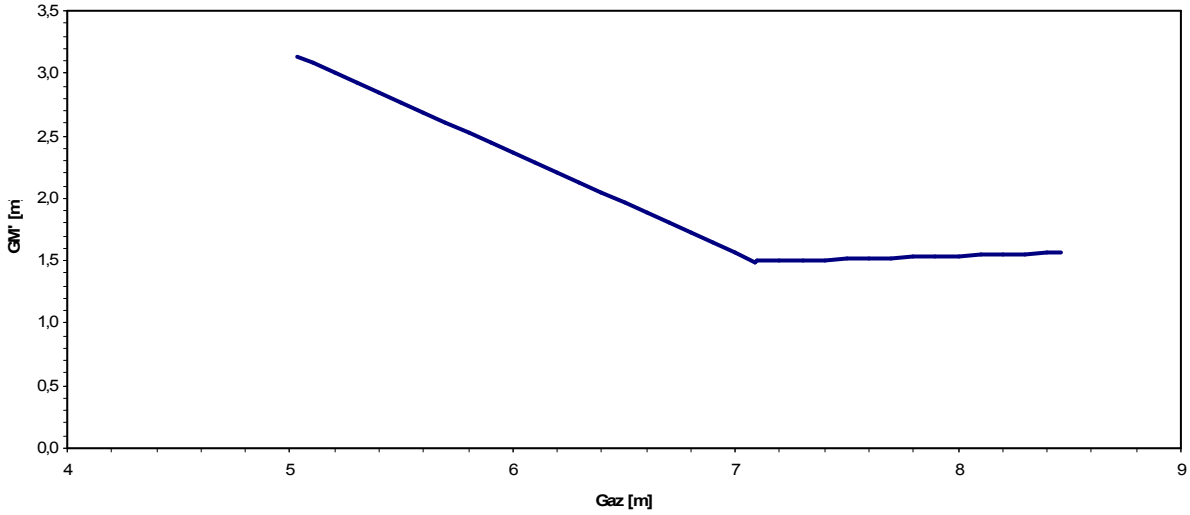
Slika 40. Poluge stabiliteta u oštećenom stanju za slučaj 311.00 na gazu d_l =5,031m

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**

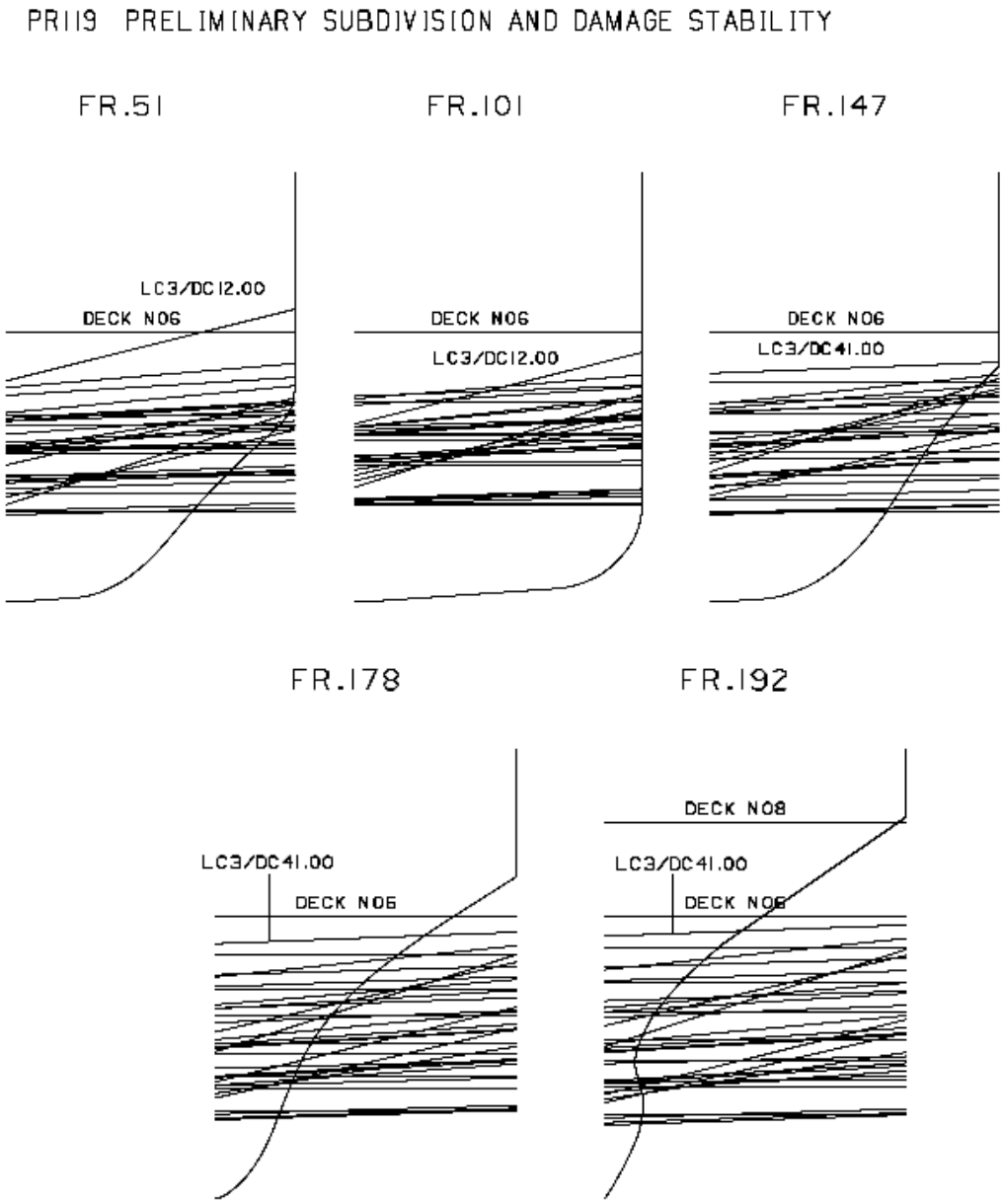
dl=	5.031	m	SB									
Damage	**b**	**x1**	**x2**	**s**	**vm**	**J**	**Jn**	**p(x1,x2)**	**Jo**	**G**	**r(x1,x2,b)**	**Al=r*v*s*p**
12,00	15.55	0	43.25	1	1	0.2455	0.2455	0.2119	0.0333	0.2031	1.0000	0.21190
61,00	15.55	149.05	176.205	1	1	0.1541	0.1541	0.1224	0.0333	0.1880	1.0000	0.12244
31,00	15.55	43.25	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

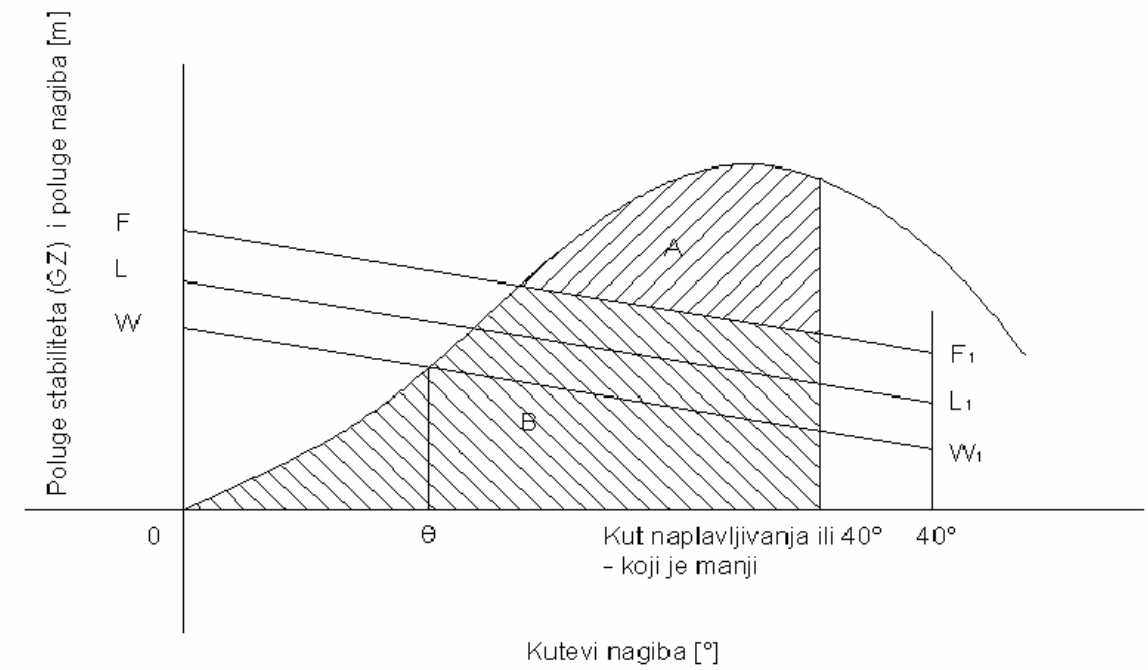
5.8.2 Stabilitet broda u neoštećenom stanju

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
θ - 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:

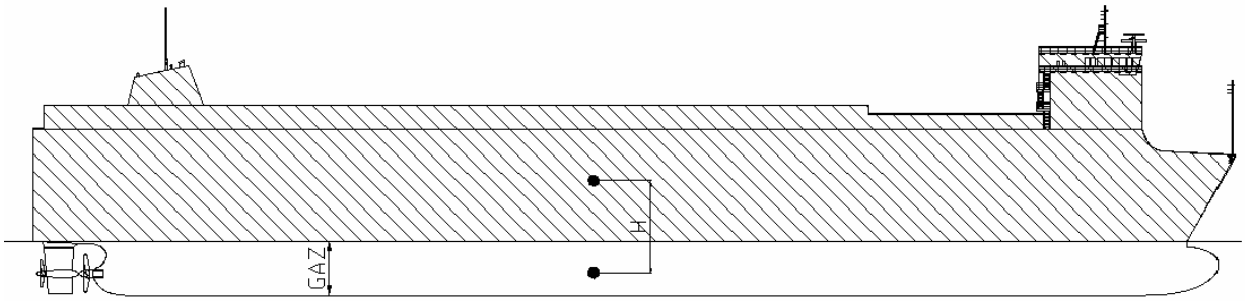
P = 0,05 t/m^2 - tlak vjetra prema AMSA-i
A - bočna površina broda iznad vodne linije
H - vertikalna udaljenost između težišta bočne površine broda ispod i iznad vodne linije (prema Slika 44)
D - istisnina

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

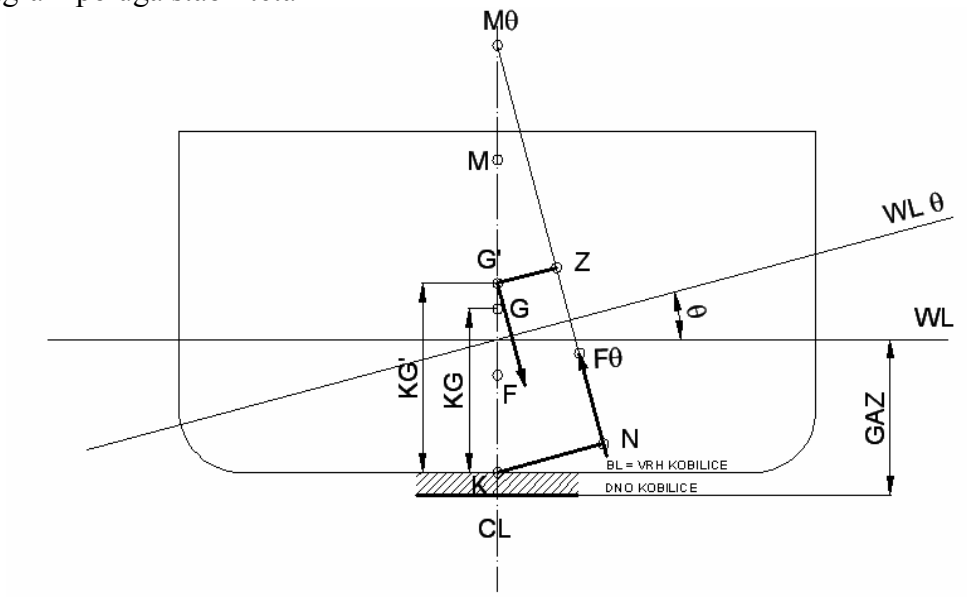
KG' = KG + GG'
= 12,03 + 0,3687 = 12,399 m

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



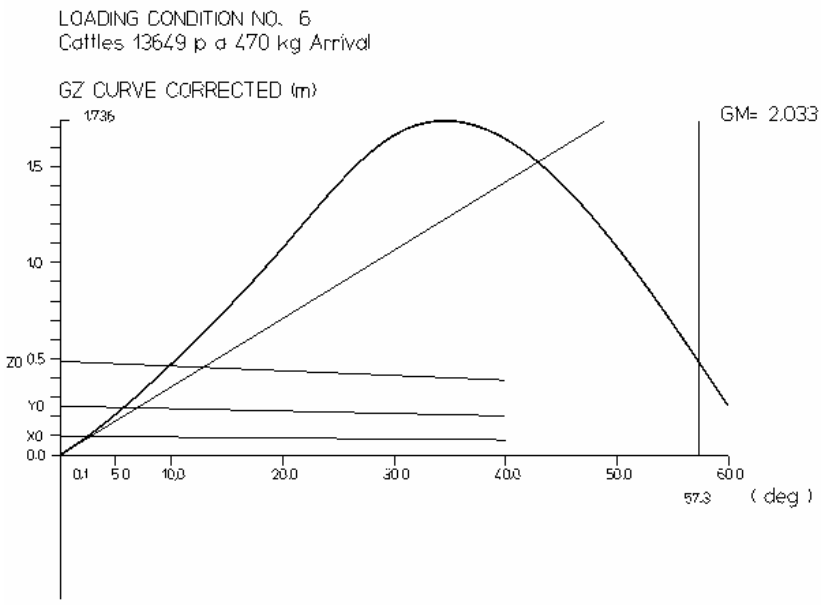
$$G'Z = KN - \sin\theta \cdot KG'$$

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

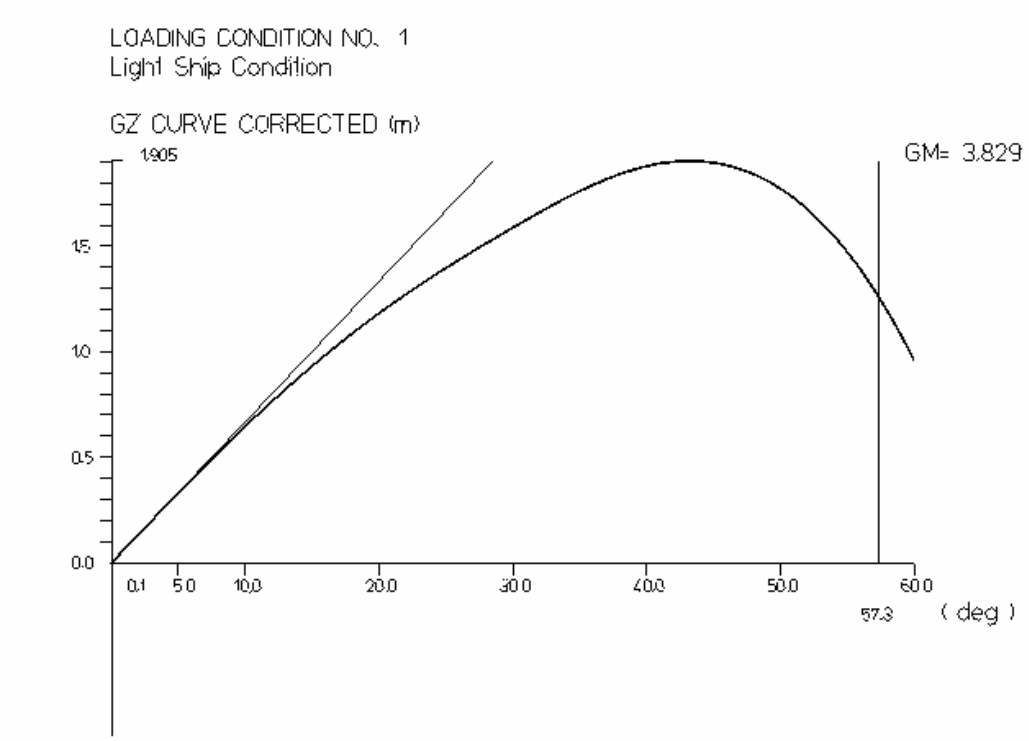
Light Ship Condition

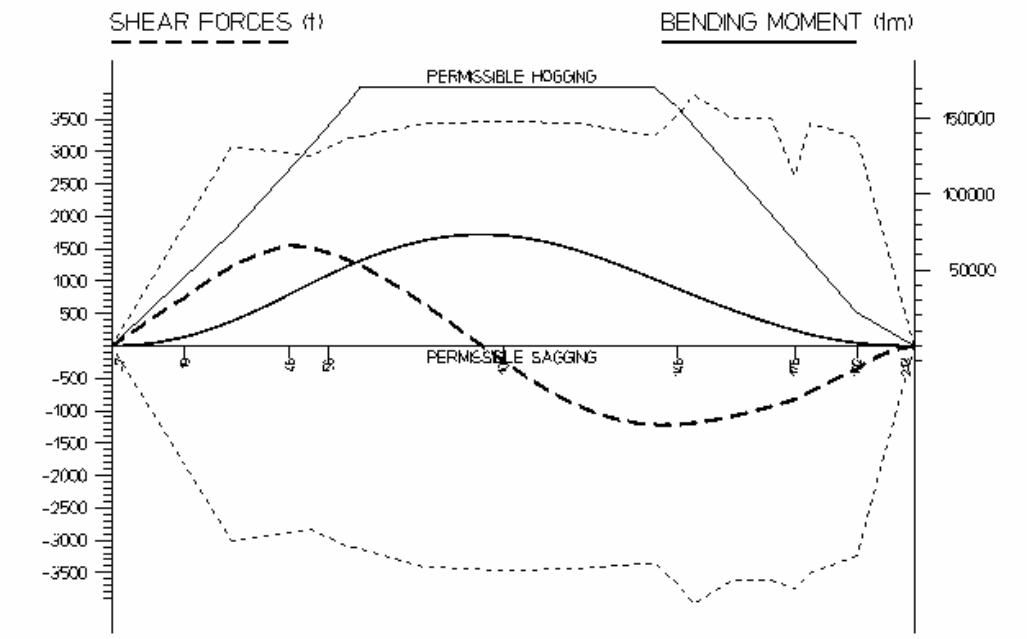
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

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 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

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

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

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

POLUGA MOMENTA VJETRA

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

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

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

```
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
```

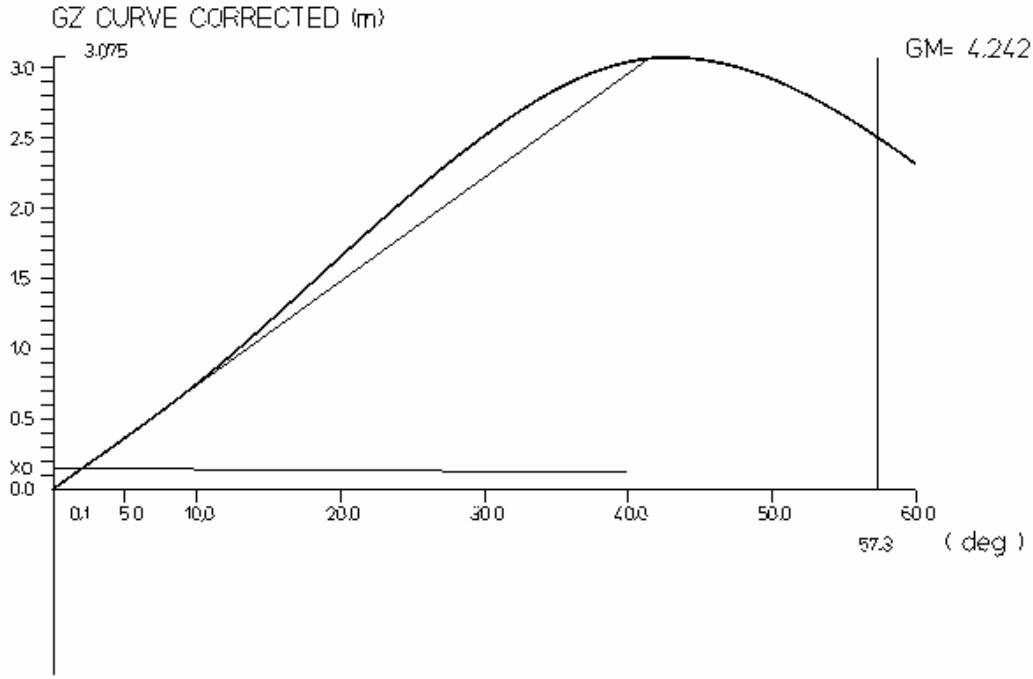
Ballast Condition 100% Consumables

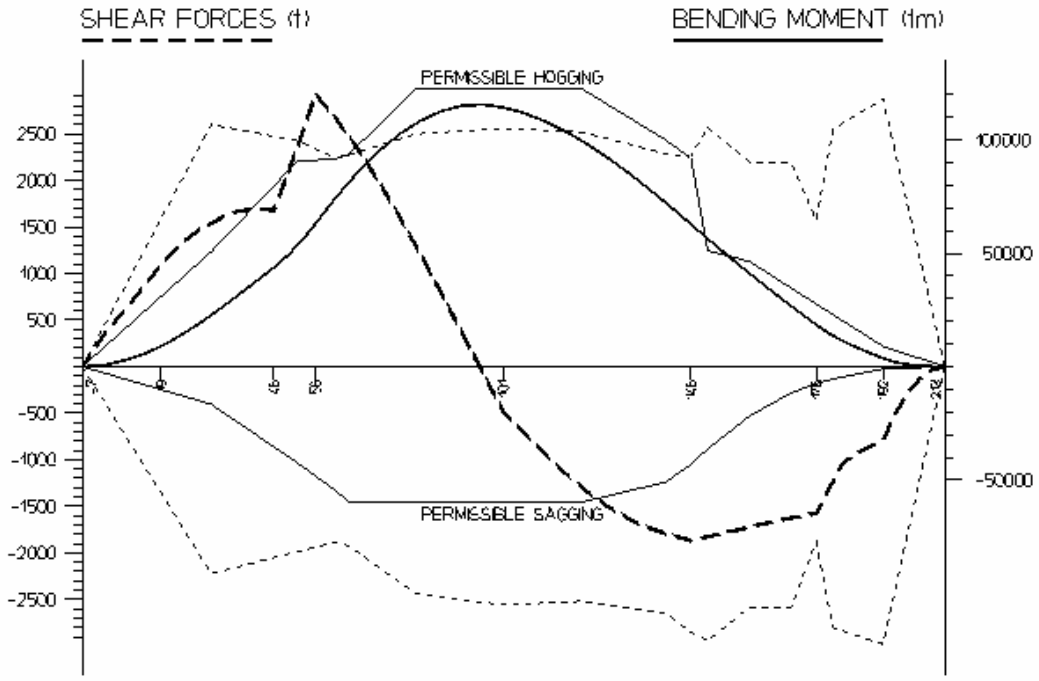
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

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
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 3
==========

Ballast Condition 10% Consumables

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	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

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

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = 0\ m$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

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

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

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

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

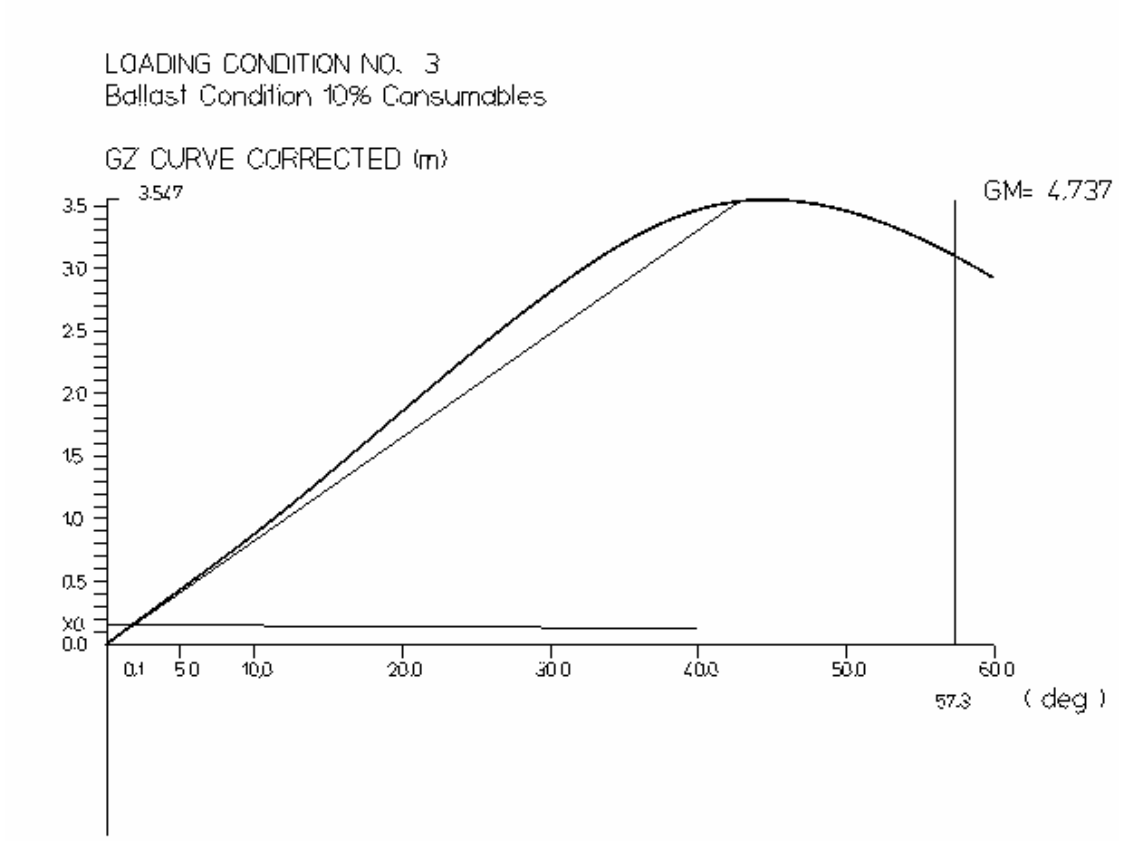
Ballast Condition 10% Consumables

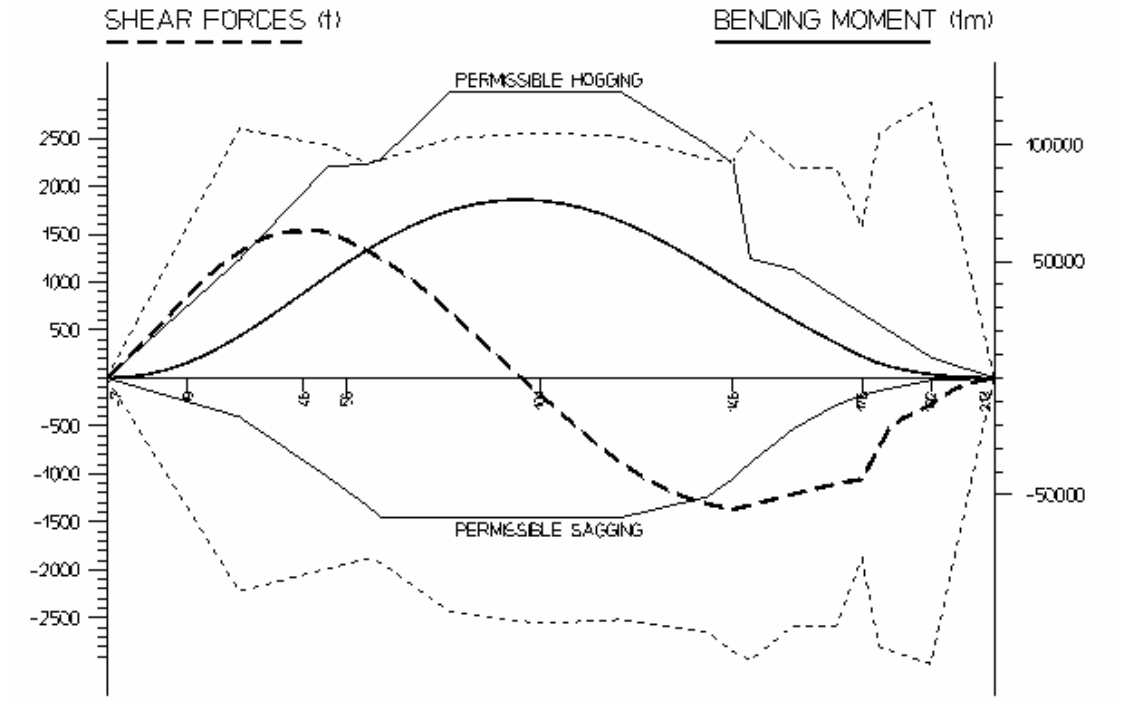
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

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:	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						
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

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

POLUGA MOMENTA POMAKA STOČNE HRANE

$$Y0° = \frac{F}{S \cdot D} = 0\ m$$

POLUGA MOMENTA VJETRA

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

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

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

STABILITY CRITERIA EVALUATION

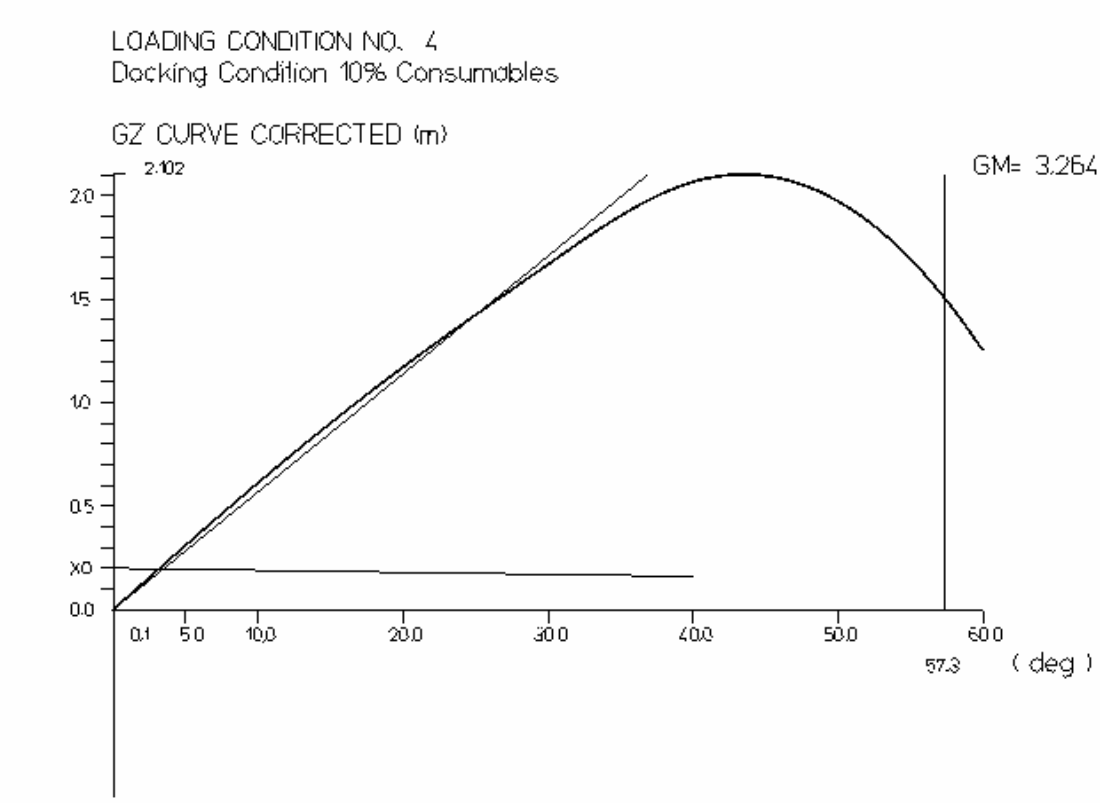
NO	DESCRIPTION	REQUIRED	ACTUAL
1	AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 30.0 DEGREES	0.055	0.459
2	AREA UNDER GZC CURVE FROM 0.0 TO 40.0 DEGREES	0.090	0.789
3	AREA UNDER GZC CURVE FROM 30.0 TO 40.0 DEGREES	0.030	0.330
4	GZC AT THE ANGLE 30.0 DEGREES	0.200	1.668
5	RIGHTING ARM MAXIMUM AT AN ANGLE NOT LESS THAN 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

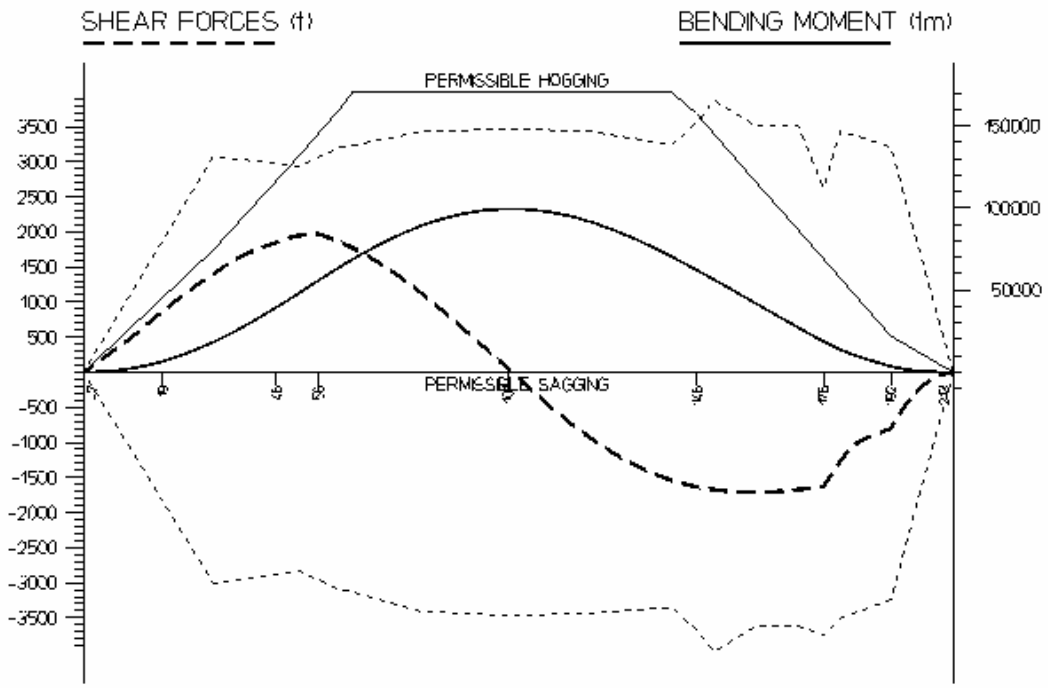
Docking Condition 10% Consumables

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:	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

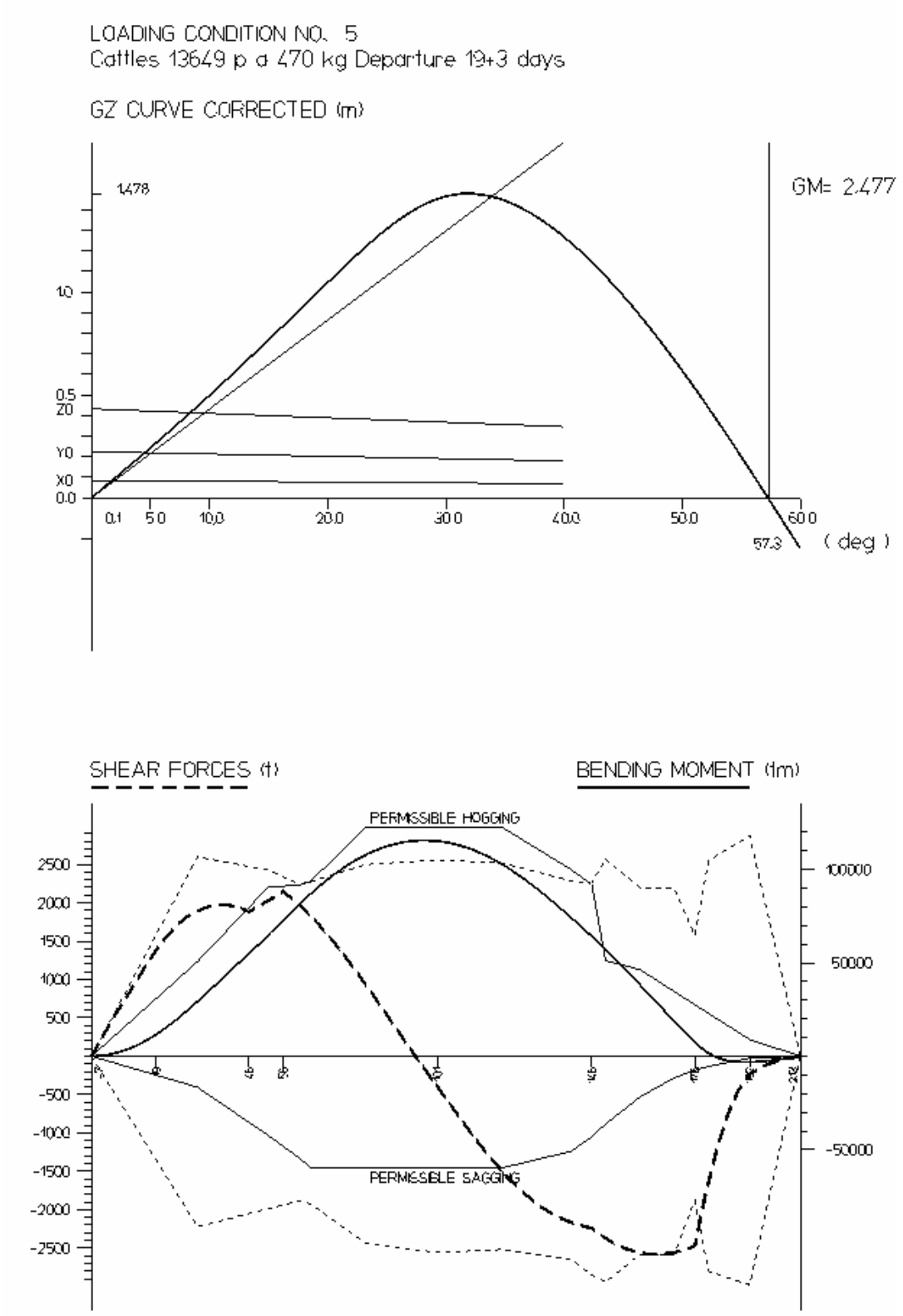
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

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

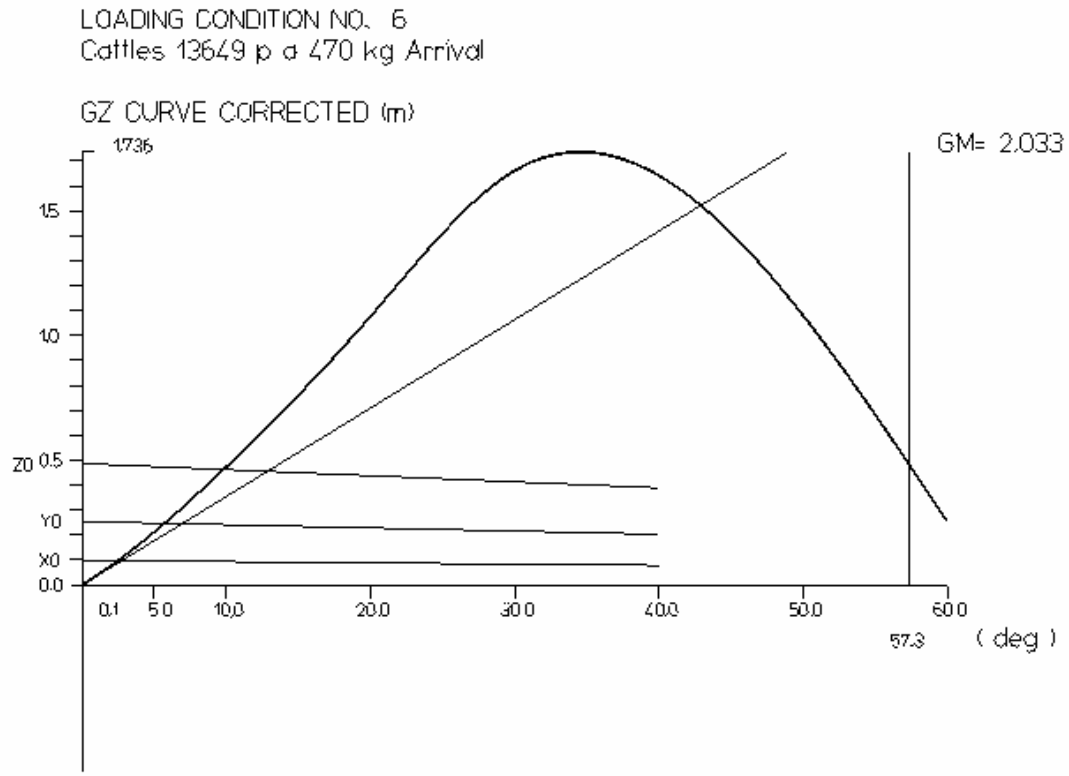
Cattles 13649 p a 470 kg Arrival

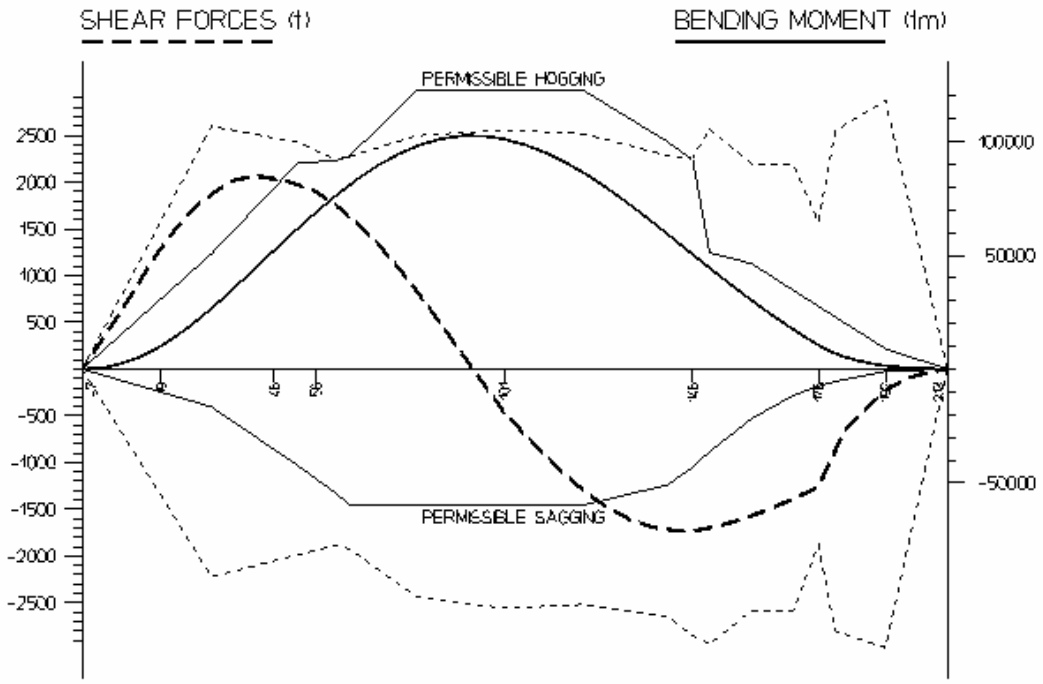
LONGITUDINAL STRESS CALCULATION.

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)
1.736
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.