

# Nova generacija LNG tankera

---

**Zafranović, Emanuela**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:390171>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **NOVA GENERACIJA BRODOVA ZA PRIJEVOZ UKAPLJENOG PLINA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Emanuela Zafranović**

**Mentor:** doc. Dr. Vedranu Slapničar

Zagreb, 2008.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradila samostalno, koristeći se literaturom i znanjem stečenim tijekom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Zahvaljujem mentoru, doc. Dr. Vedranu Slapničaru, na stručnoj pomoći pri izradi ovog rada.

Zagreb, 2. srpnja 2008.

### ZAHVALA

Hvala dragim kolegama, profesorima i  
asistentima na nesebičnoj pomoći

Hvala tati na financijskoj potpori

Hvala Antoniju i Magdaleni na  
vjetru u krmi

Veliko hvala mami na usmjerenju prema  
ovoj struci i podršci u svemu...

ovo je za tebe

<b>1. UVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1. Ukapljeni prirodni plin (eng. liquefied natural gas)</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2. Transport prirodnog ukapljenog plina</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3. Lučki terminali za prihvat ukapljenog plina</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4. Ponuda i potražnja LNG proizvoda</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5. Sigurnost</b> .....	<b>16</b>
<b>2. LNG TANKERI</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1. Vrste tankova za prijevoz ukapljenog plina</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.1. Usporedba značajki</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2. Materijali za izradu sustava tankova</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3. Izolacijski materijali</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4. Zahtjevi i propisi</b> .....	<b>25</b>
<b>3. PODJELA SUSTAVA LNG SPREMNIKA</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1. Moss tank tip B (sustavi sa samonosivim sferičnim spremnicima)</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.2. Antikorozivna zaštita</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.3. Izolacija</b> .....	<b>29</b>
<b>4. HI SPB TANK (Self Supporting Prismatic IMO Type B) – SUSTAVI SA SAMONOSIVIM PRIZMATIČNIM SPREMNICIMA</b> .....	<b>34</b>
<b>5. MEMBRANSKI SISTEM TANKOVA</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1. Razvoj membranskog sistema tanka</b> .....	<b>37</b>
<b>5.2. Tehničke specifičnosti broda s membranskim tipom tankova</b> .....	<b>38</b>
<b>5.3. Materijali za izradu membranskog tanka</b> .....	<b>42</b>
<b>5.3.1. Invar</b> .....	<b>42</b>
<b>5.3.2. Svojstva Invara</b> .....	<b>42</b>
<b>5.3.3. Izolacija</b> .....	<b>43</b>
<b>6. PODJELA MEMBRANSKIH TANKOVA</b> .....	<b>47</b>
<b>6.1. Technygaz - TGZ Mark III</b> .....	<b>47</b>
<b>6.2. Gaztransport</b> .....	<b>49</b>
<b>7. SLOSHING</b> .....	<b>53</b>
<b>7.1. Modelska ispitivanja u mjerilu</b> .....	<b>56</b>
<b>8. Q-FLEX i Q-MAX LNG TANKERI</b> .....	<b>59</b>
<b>8.1. Karakteristike Q-flex i Q-max tankera i njihova zastupljenost</b> .....	<b>59</b>
<b>8.2. Sueski kanal</b> .....	<b>62</b>

<b>9. PROPULZIJA .....</b>	<b>64</b>
<b>9.1. Parna turbina .....</b>	<b>64</b>
<b>9.2. Diesel električni motor na dvojno gorivo .....</b>	<b>65</b>
<b>9.3. Sporohodni Diesel motor sa sustavom za ukapljivanje isprenog plina.....</b>	<b>66</b>
<b>10. PODACI O RAZMATRANOM PROTOTIPU SA STANDARDNIM OBLIKOM MEMBRANSKOG TANKA .....</b>	<b>69</b>
<b>10.1. Podaci o brodu: .....</b>	<b>69</b>
<b>10.2. Podaci o teretnim tankovima .....</b>	<b>70</b>
<b>10.3. Materijal spremnika i geometrijska ograničenja.....</b>	<b>70</b>
<b>11. NOVI OBLICI TANKOVA ZA UKAPLJENI PLIN.....</b>	<b>73</b>
<b>11.1. Opis zadatka.....</b>	<b>73</b>
<b>11.2. Četiri stanja krcanja.....</b>	<b>73</b>
<b>11.3. Stabilitet.....</b>	<b>74</b>
<b>11.4. Konvencionalni oblik membranskog tanka.....</b>	<b>76</b>
<b>11.4.1. Opis tankova .....</b>	<b>76</b>
<b>11.4.2. Prvo stanje krcanja.....</b>	<b>78</b>
<b>11.4.3. Drugo stanje krcanja.....</b>	<b>81</b>
<b>11.4.4. Treće stanje krcanja .....</b>	<b>84</b>
<b>11.4.5. Četvrto stanje krcanja.....</b>	<b>87</b>
<b>11.5. Novi oblik membranskog tanka, poprečni presjek sa poluelipsom na donjem i gornjem dijelu.....</b>	<b>90</b>
<b>11.5.1. Podaci o teretnim tankovima.....</b>	<b>90</b>
<b>11.5.2. Prvo stanje krcanja.....</b>	<b>92</b>
<b>11.5.3. Drugo stanje krcanja.....</b>	<b>95</b>
<b>11.5.4. Treće stanje krcanja .....</b>	<b>98</b>
<b>11.5.5. Četvrto stanje krcanja.....</b>	<b>101</b>
<b>11.6. LNG tanker,poprečni presjek tanka kvadar sa oblim rubovima .....</b>	<b>104</b>
<b>11.6.1. Podaci o teretnim tankovima.....</b>	<b>104</b>
<b>11.5.2. Prvo stanje krcanja.....</b>	<b>106</b>
<b>11.5.3. Drugo stanje krcanja.....</b>	<b>109</b>
<b>11.5.4. Treće stanje krcanja .....</b>	<b>112</b>
<b>11.5.4. Četvrto stanje krcanja.....</b>	<b>115</b>
<b>11.7. Novi oblik membranskog tanka,donji dio tanka je sa zaobljenim rubovima, dok je gornji dio polucilindar .....</b>	<b>117</b>

<i>11.7. Novi oblik membranskog tanka, donji dio tanka je sa zaobljenim rubovima, dok je gornji dio polucilindar</i> .....	118
<i>11.7.1. Podaci o teretnim tankovima</i> .....	118
<i>11.7.2. Prvo stanje krcanja</i> .....	120
<i>11.7.3. Drugo stanje krcanja</i> .....	123
<i>11.7.4. Treće stanje krcanja</i> .....	126
<i>11.7.5. Četvrto stanje krcanja</i> .....	129
<i>11.8. LNG tanker, poprečni presjek tanka s donjim konvencionalnim uglatim dijelom, a, gornjim u obliku poluelipse</i> .....	132
<i>11.8.1 Kratki tehnički opis</i> .....	132
<i>11.8.2. Dijagram mase praznog opremljenog broda</i> .....	133
<i>11.8.2. Podaci o teretnim tankovima:</i> .....	136
<i>11.8.3. Odabrani oblik propulzije</i> .....	137
<i>11.8.4. Proračun potrebne snage i odabir pogonskog stroja</i> .....	139
<b>12. EKONOMSKA ANALIZA</b> .....	143
<b>13. ZAKLJUČAK</b> .....	149
<b>14. LITERATURA</b> .....	151
<b>15. PRILOG</b> .....	152

## POPIS SLIKA

<i>Slika 1: Ukapljeni naftni plin</i> .....	11
<i>Slika 2: Dijagram usporedbe isplativosti LNG broda naspram cjevovoda</i> .....	12
<i>Slika 3: Prikaz pojedinih faza u transportu plina i udio u troškovima</i> .....	13
<i>Slika 4: Najveći LNG terminal u SAD-u (Maryland, južno od Baltimora)</i> .....	13
<i>Slika 5: Pogon za ponovno ukapljivanje LNG-a</i> .....	14
<i>Slika 6: Kretanje svjetske potrošnje primarne energije 1982. - 2030. godine</i> .....	15
<i>Slika 7: Zalihe plina u svijetu u bilijunima kubičnih metara</i> .....	16
<i>Slika 8: podjela LNG tankova</i> .....	19
<i>Slika 9: Udio pojedinog tipa tanka u ukupnoj floti LNG tankera</i> .....	21
<i>Slika 10: Vizualna usporedba LNG tankera sa sfernim i membranskim tankovima</i> .....	23
<i>Slika 11: Prikaz LNG tankova unutar broda sa sfernim, odnosno membranskim spremnicima</i> .....	23
<i>Slika 12: Dijelovi sfernog tanka</i> .....	31
<i>Slika 13: Moss design (Moss Maritime)</i> .....	32
<i>Slika 14: Ugradnja kod visoke gotovosti broda, čime se osigurava bolji nadzor kvalitete izrade i kraći rokovi isporuke</i> .....	32
<i>Slika 15: Moss LNG tankeri</i> .....	33
<i>Slika 16: IHI SPB LNG tankovi</i> .....	34
<i>Slika 17: Prikaz unutrašnjosti IHI SPB LNG tanka</i> .....	35
<i>Slika 18: Poprečni presjek membranskog tanka</i> .....	41
<i>Slika 19: 3D prikaz membranskog tanka</i> .....	41
<i>Slika 20: Pogled u unutrašnjost membranskog tanka</i> .....	41
<i>Slika 21: Izolacijske kutije Technigaz Mark III membranskog tanka</i> .....	47
<i>Slika 22: Mark III Technygaz membranski tank</i> .....	48
<i>Slika 23: Unutrašnjost Technygaz membranskog tanka</i> .....	48
<i>Slika 24: Perlit</i> .....	50
<i>Slika 25: Izolacijska kutija-Gaztransport No 96</i> .....	50
<i>Slika 26: Prikaz po slojevima Gaztransport No 96 membranskog tanka</i> .....	51
<i>Slika 27: Prikaz po slojevima kutnog dijela Gaztransport No 96 membranskog tanka</i> .....	51
<i>Slika 28: Pumpni toranj unutar LNG tanka i polje brzina na mjestu tornja</i> .....	54
<i>Slika 29: Opterećenje tankova u ovisnosti o njihovoj punoći</i> .....	55
<i>Slika 30: Opterećenje pumpnog tornja</i> .....	55
<i>Slika 31: Polje brzina u membranskom i sfernom tanku</i> .....	56
<i>Slika 32: Model tanka za ispitivanje sloshinga</i> .....	57
<i>Slika 33: Usporedba-konvencionalni LNG tanker, Q-flex i Q-max</i> .....	60
<i>Slika 34: Karta svijeta sa označenim Qatarom kao izvoznikom</i> .....	62
<i>Slika 35: Satelitska slika Sueskog kanala</i> .....	63
<i>Slika 36: Brodovi u prolazu kroz Suez</i> .....	63
<i>Slika 37: Shema postrojenja LNG broda s parnom turbinom</i> .....	65
<i>Slika 38: Shema postrojenja LNG broda s Diesel motorima na dvojno gorivo s električnim motorima koji okreću propeler</i> .....	66
<i>Slika 39: Shema postrojenja LNG broda s Diesel motorima i sustavom za ponovno ukapljivanje plina</i> .....	67
<i>Slika 40: Trend porasta instaliranja sporohodnih Diesel motora na LNG tankerima</i> .....	68
<i>Slika 41: Tipičan raspored tankova kod LNG tankera s membranskim tankovima</i> .....	69
<i>Slika 42: Geometrijska ograničenja tanka s rasporedom dvostruke oplata i dvodna</i> .....	71
<i>Slika 43: Poprečni presjek i tlocrt tankova</i> .....	72
<i>Slika 44: Konvencionalni oblik membranskog tanka na LNG tankeru</i> ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<i>Slika 45: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1. stanje krcanja</i> .....	78
<i>Slika 46: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2. stanje krcanja</i> .....	81
<i>Slika 47: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za treće stanje krcanja</i> .....	84
<i>Slika 48: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4. stanje krcanja</i> .....	87
<i>Slika 49: LNG tank poprečni presjek sa poluelipsom na donjem i gornjem dijelu</i> .. <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<i>Slika 50: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1. stanje krcanja</i> .....	92
<i>Slika 51: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2. stanje krcanja</i> .....	95
<i>Slika 52: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 3. stanje krcanja</i> .....	98
<i>Slika 53: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4. stanje krcanja</i> .....	101
<i>Slika 54: LNG tank u obliku kvadra sa zaobljenim rubovima</i> ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<i>Slika 55: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2. stanje krcanja</i> .....	109
<i>Slika 56: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 3. stanje krcanja</i> .....	112



<i>Slika 57: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4.stanje krcanja.....</i>	<i>115</i>
<i>Slika 58: LNG tank, donji dio s oblim rubovima, gornji dio polucilindar .....</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<i>Slika 59: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1.stanje krcanja.....</i>	<i>120</i>
<i>Slika 60: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2.stanje krcanja.....</i>	<i>123</i>
<i>Slika 61: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblim donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS).....</i>	<i>125</i>
<i>Slika 62: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2.stanje krcanja.....</i>	<i>126</i>
<i>Slika 63: Krivulje stabiliteta za treće stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblim donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS).....</i>	<i>128</i>
<i>Slika 64: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4.stanje krcanja.....</i>	<i>129</i>
<i>Slika 65: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblim donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS).....</i>	<i>131</i>
<i>Slika 66. Prognozni dijagram .....</i>	<i>140</i>

## POPIS TABLICA

Tabela 1: Kemijski sastav Invar čelika .....	43
Tabela 2: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS) .....	79
Tabela 3: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS) .....	82
Tabela 4: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS) .....	85
Tabela 5: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS) .....	88
Tabela 6: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS) .....	93
Tabela 7: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS) .....	96
Tabela 8: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS) .....	99
Tabela 9: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS) .....	102
Tabela 10: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS) .....	107
Tabela 11: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS) .....	110
Tabela 12: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS) .....	113
Tabela 13: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS) .....	116
Tabela 14: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS) .....	121
Tabela 15: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS) .....	124
Tabela 16: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS) .....	127
Tabela 17: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS) .....	130

## **POPIS DIJAGRAMA**

<i>Dijagram 1: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka</i> .....	80
<i>Dijagram 2: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	83
<i>Dijagram 3: Krivulje stabiliteta za treće stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	86
<i>Dijagram 4: Krivulje stabiliteta za četvrto stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	89
<i>Dijagram 5: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	94
<i>Dijagram 6: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	97
<i>Dijagram 7: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	100
<i>Dijagram 8: Krivulje stabiliteta za četvrto stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka (program GHS)</i> .....	103
<i>Dijagram 9: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima (program GHS)</i> .....	108
<i>Dijagram 10: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima (program GHS)</i> .....	111
<i>Dijagram 11: Krivulje stabiliteta za treće stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima (program GHS)</i> .....	114
<i>Dijagram 13: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblim donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS)</i> .....	122

**POPIS OZNAKA**

aft		krmeni dio broda
B	m	Širina broda
BMt	m	Visina poprečnog metacentra iznad težišta istisnine
BMI	m	Visina uzdužnog metacentra iznad težišta istisnine
Cb		Koeficijent istisnine
Cm		Koeficijent glavnog rebra
C <sub>okr</sub>		Konstanta snage
Cp		Prizmatični koeficijent
Cw		Koeficijent vodne linije
D <sub>WTD</sub>	m	Nosivost broda na projektnom gazu
D <sub>WTS</sub>	m	Nosivost broda na maksimalnom gazu
Fn		Froude-ov broj
GT	t	Bruto registarska tonaža
GZ	m	Poluga stabiliteta
H	m	Visina broda do glavne palube
I <sub>x</sub>	m <sup>4</sup>	Uzdužni moment inercije vodne linije
I <sub>y</sub>	m <sup>4</sup>	Poprečni moment inercije vodne linije
KB	m	Visina težišta istisnine iznad kobilice
KG	m	Visina težišta mase iznad kobilice
KMI	m	Uzdužna metacentarska visina
KMt	m	Poprečna metacentarska visina
LCB	m	Uzdužna udaljenost težišta istisnine od krmene okomice
LCG	m	Uzdužna udaljenost težišta mase od krmene okomice
LCF	m	Uzdužna udaljenost težišta vodne linije od krmene okomice
Loa	m	Duljina broda preko svega
Lpp	m	Duljina broda između okomica
Lwl	m	Duljina vodne linije
N <sub>MAX</sub>	o/min	Broj okretaja pri maksimalnoj snazi stroja
N <sub>s</sub>	o/min	Broj okretaja za postizanje brzine u službi
NT	t	Neto registarska tonaža
P <sub>B</sub>	kW	Snaga pogonskog stroja za brzinu u službi
P <sub>MAX</sub>	kW	Maksimalna snaga pogonskog stroja
S	m <sup>2</sup>	Površina uronjenog djela
T <sub>D</sub>	m	Projektni gaz
T <sub>s</sub>	m	Maksimalni
v	kn	Brzina broda
V	m <sup>3</sup>	Volumen istisnine
VCB	m	Visina težišta istisnine
VCG	m	Visina težišta mase
V <sub>BALLAST</sub>	m <sup>3</sup>	Volumen balastnih tankova
V <sub>DO</sub>	m <sup>3</sup>	Volumen tankova diesel goriva
V <sub>HFO</sub>	m <sup>3</sup>	Volumen tankova teškog goriva
V	m <sup>3</sup>	Volumen skladišta tereta
V <sub>HULL</sub>	m <sup>3</sup>	Volumen trupa broda
W	t	Masa praznog opremljenog broda
Δ <sub>D</sub>	t	Istisnina broda na projektnom gazu
Δ <sub>s</sub>	t	Istisnina broda na maksimalnom gazu

## SAŽETAK

U diplomskom radu je obrađena podjela dosadašnjih tipova teretnih tankova za prijevoz ukapljenog plina. Opisana je građevna struktura, materijali za izradu oplata tanka i izolacije. Provedena je direktna usporedba dvaju najzastupljenijih sistema tankova, membranskog i sfernog, te navedene njihove prednosti i nedostaci. U programu Rhinoceros su dizajnirani razni novi oblici membranskih tankova sa do sada još neprovjerenim karakteristikama. Dizajn svakog posebnog oblika tanka je prenesen u program GHS gdje je prethodno dizajniran prototip bez tankova tereta. Na taj način je dobiveno pet LNG tankera s novim oblicima teretnih tankova i jedan sa konvencionalnim oblikom tanka radi usporedbe. U spomenutom programu su izrađena karakteristična stanja krcanja svakog broda s provjerom trima, stabiliteta i čvrstoće. Prihvaćen je brod sa optimalnim oblikom tanka te je upravo za njega dalje definiran oblik propulzije, dijagram mase praznog opremljenog broda, nacrtano glavno rebro i opći plan, uz kratak tehnički opis i ekonomsku analizu novog LNG tankera.

## 1. UVOD

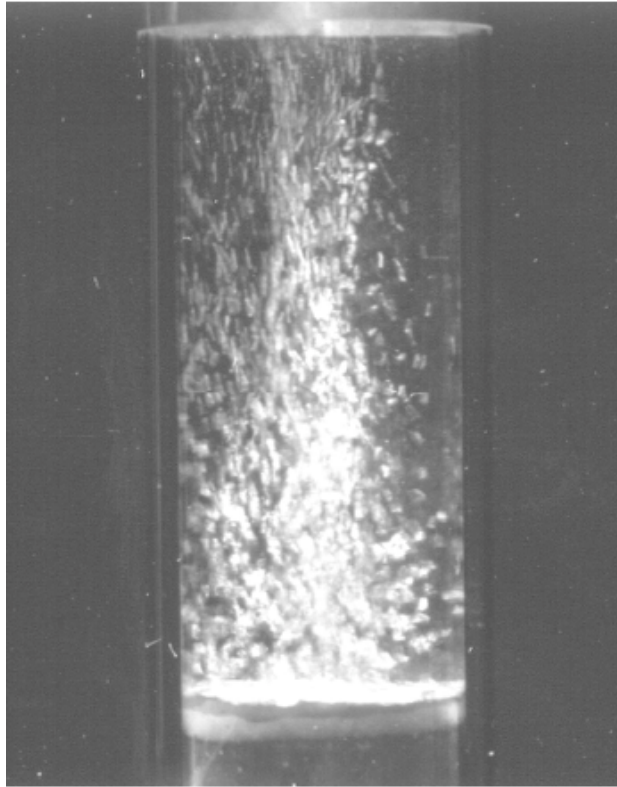
### *1.1. Ukapljeni prirodni plin (eng. liquefied natural gas)*

Ukapljeni prirodni plin je plin rashlađen na vrlo niske temperature tako da poprima tekuće agregatno stanje. Kada se prirodni plin rashladi na minus 161°C postaje bistra tekućina bez boje, okusa i mirisa. Gustoća mu je od 420 do 500 kg/m<sup>3</sup>. Tankovi imaju ulogu velike 'termos boce' u kojoj ukapljeni plin vrije cijelo putovanje, od ukrcaja tereta do njegovog iskrcanja u terminalu. Nema korozivna svojstva i nije toksičan. Sustav relivikacije ili ponovnog ukapljivanja zasniva se na kriogenskom rashladnom principu gdje se koristi dušik (N) za postizanje temperatura ispod vrelišta metana (-161,5°C). Kriogenička temperatura ukapljivanja metana postiže se zatvorenim ciklusima kompresije i ekspanzije dušika u plinovitom stanju (temperatura vrelišta dušika je oko -190°C).

Inače, LNG je smjesa plinova koja se pri temperaturi i tlaku okoline nalazi u plinovitom stanju. U smjesi dominira metan, a nalazimo još u manjim postotcima i etan, propan i butan. Metan je po svom kemijskom sastavu zasićeni ugljikovodik sa jednim atomom ugljika i četiri atoma vodika kemijske oznake CH<sub>4</sub>.

U tekućem stanju nije eksplozivan, a pri isparavanju nastaje dobro vidljivi oblak plina. Zagrijavanjem plina proces isparavanja se ubrzava, plin postaje lakši od zraka i podiže se uvis. Zapaljiv je pri koncentraciji u zraku od 2.2% do 9.5%, a butan od 1.8% do 9.4%. Budući da ukapljeni LNG zauzima samo 1/600 dio volumena prirodnog plina u plinovitom stanju, to stanje je pogodno za transport u tankerima po cijelom svijetu.

U teoriji bi se plin visokim tlakom mogao sabiti do gustoće približno jednake njegovoj kapljevinu, ali težina i cijena odgovarajućih spremnika bi bila prevelika i samim tim učinila takav transport neekonomičnim. Za sada se svi plinovi prevoze u isključivo ukapljenom stanju.



Slika 1: Ukapljeni naftni plin

Razlog porasta upotrebe, a s time prijevoza, su višestruki. Njegove najčešće spominjane prednosti nad ostalim energentima (naftom najviše) su:

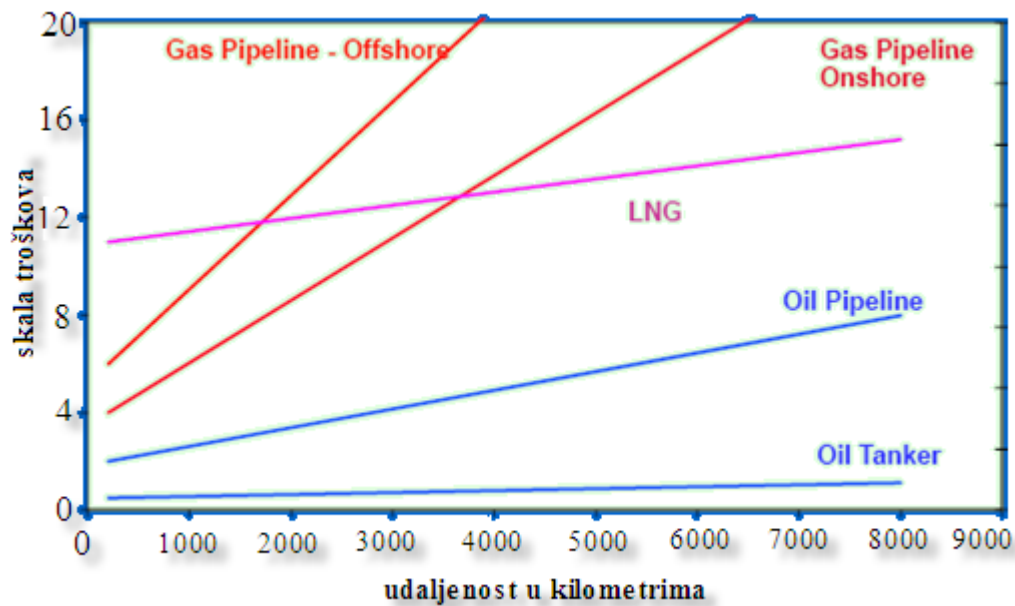
- znatno manje onečišćenje okoliša
- gorivo visoke ogrjevne moći
- moguće velike rezerve nalazišta ispod 1000 m

### ***1.2. Transport prirodnog ukapljenog plina***

Transport LNG-a brodom ima 30-godišnju povijest uz ostvarenu iznimnu pouzdanost i sigurnost. Do današnjeg dana nije bilo slučajeva prijavljenog pucanja ili propuštanja tanka. LNG tankeri moraju imati dvostruku oplatu i specijalno su dizajnirani da podnose niske temperature ukapljenog plina.

Plin se može isporučivati tržištu plinovodom (cjevovodom) ili LPG/LNG brodovima. Plinovodi su isplativiji na kraćim udaljenostima, a iznad određene daljine

postaje ekonomičnije krcati ga u tankere za otpremanjem na velike udaljenosti tamo gdje postoji prekooceanski transport.



Slika 2: Dijagram usporedbe isplativosti LNG broda naspram cjevovoda

Iz slike 2 je vidljivo kako porast troškova gradnje cjevovoda raste kontinuirano s njegovom duljinom. Isplativ je samo na kraćim dionicama, a iznad određene duljine cjevovoda postaje ekonomičnije krcati ga u tankere i prevoziti ga morskim putem na velike udaljenosti.

Primjer: 1 krcanje LNG broda kapaciteta  $137\ 000\ m^3 = 930\ mil.KWh$ ,

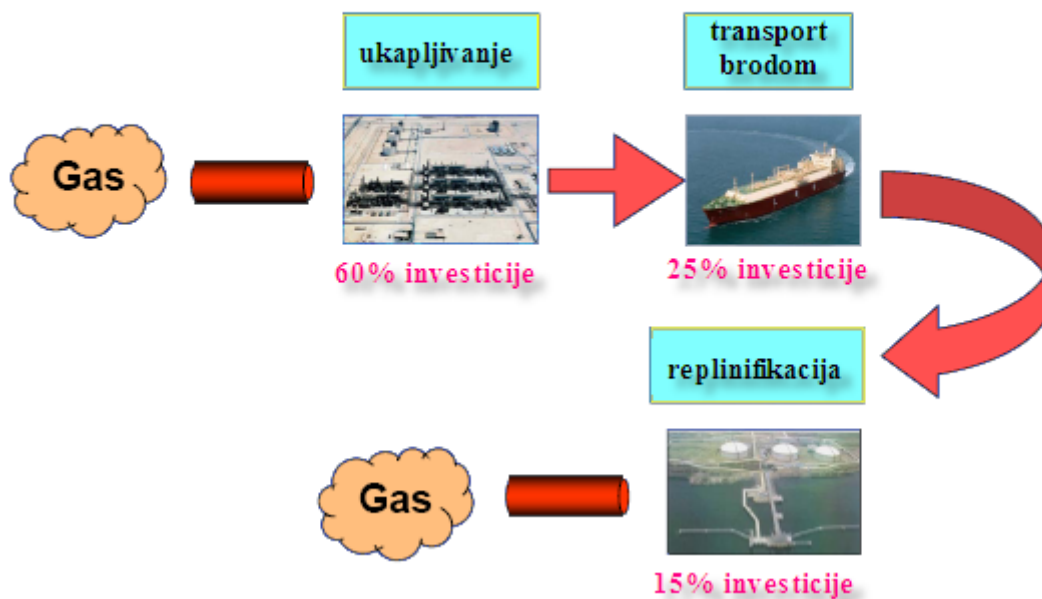
što je dovoljno za godišnju opskrbu energijom čak 200 000 ljudi.

Budući se ukapljeni plinovi transportiraju pri jako niskim temperaturama, toplina koja prodire iz okoline broda do tankova uzrokuje zagrijavanje i isparavanje određenog dijela tereta, pojava poznata po nazivu 'boil off rate'. Postotak isparenog plina ovisi o nekoliko faktora, a prosječno iznosi 0.15 % ukupnog volumena tanka dnevno.

Dva su načina rješavanja ovog problema. Prvi je ugradnja uređaja za ponovno ukapljivanje i vraćanje natrag u teretni tank. Izvedba takvih uređaja za LNG brodove je komplicirana i skupa.

Ekonomičniji način je sistem odvođenja isparenog plina preko kompresora u plinske turbine gdje se plin iskorištava kao pogonsko gorivo.





Slika 3: Prikaz pojedinih faza u transportu plina i udio u troškovima

### *1.3. Lučki terminali za prihvat ukapljenog plina*

Lučki terminali za prihvat ukapljenog plina su opremljeni sistemima za replinifikaciju (ponovno dovođenje ukapljenog plina u plinovito stanje) ili omogućuje daljnji transport u ukapljenom stanju.



Slika 4: Najveći LNG terminal u SAD-u (Maryland, južno od Baltimorea)

Nakon primanja u terminalu LNG se obično prebacuje u izolirane spremnike konstruirane specijalno za spremanje LNG-a. Ti spremnici moraju održavati nisku temperaturu tekućine i moraju minimizirati količinu isparenog plina. Ovo isparivanje je obavezno jer bi u protivnom tlak i temperatura u spremniku rasli. Temperatura unutar spremnika će ostati nepromijenjena ako se pritisak regulira ispuštanjem plinske pare. Ispušteni plin se može skupljati i koristiti kao gorivo u pogonu za pretovar i spremanje LNG-a. Tankeri koji prevoze LNG mogu taj ispušteni plin koristiti kao gorivo. Iako spremnici plina mogu biti i na površini, najčešće se koriste podzemni spremnici koji moraju zadovoljavati dvije osnovne karakteristike: moraju čuvati LNG za buduću upotrebu i moraju imati dobar sustav otpreme plina (ventili, kompresori...). Prirodni plin se često sprema u obliku LNG-a i u udaljenim postrojenjima, a ne samo na terminalima. Prije eksploatacije energije iz LNG-a potrebno ga je zagrijati tako da postane upotrebljiv za kuhanje, grijanje te proizvodnju električne energije. Na slici 5 prikazan je pogon za pretvorbu LNG-a natrag u plinovito stanje.

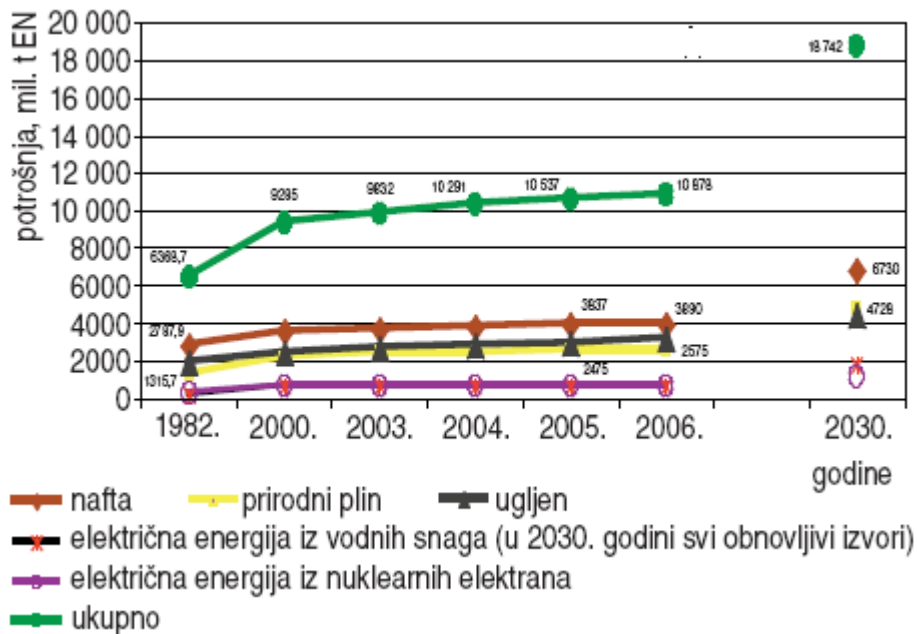


Slika 5: Pogon za ponovno ukapljivanje LNG-a

#### ***1.4. Ponuda i potražnja LNG proizvoda***

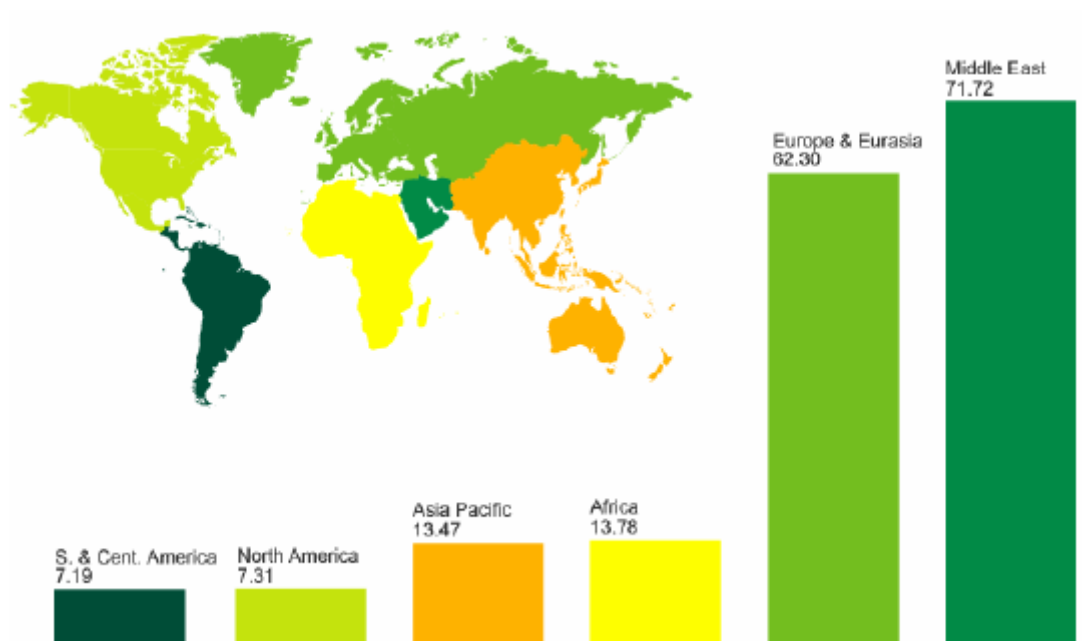
Nafta i plin čine oko 60 % svjetske potrošnje energije danas i kroz narednih četvrt stoljeća. Svjetska potrošnja energije u 2006. godini je u razvijenim zemljama s

rastućim gospodarstvima imala porast od 6.0 %, a razvijene zemlje (članice OECD-a) svega 0.9 %



Slika 6: Kretanje svjetske potrošnje primarne energije 1982. - 2030. godine

U svijetu se i dalje najviše troši nafte (35.8 %), a plin je treći izvor energije s udjelom od 23.7 %. Najveći izvoznici ukapljenog prirodnog plina su zemlje koje naravno imaju najveće rezerve tog plina. To su Alžir, Australija, Indonezija, Libija, Malezija, Nigerija, Oman i Katar. U svijetu trenutno postoji 40 LNG terminala namijenjenih primanju plina. Trenutno LNG uvoze Japan, Južna Koreja, Sjedinjene Američke Države i nekoliko Europskih država. Europske države koje imaju terminale za ukapljeni plin su Portugal, Španjolska, Francuska, Belgija, Italija, Grčka, a jedan terminal je izgrađen i u europskom dijelu Turske.



Slika 7: Zalihe plina u svijetu u bilijunima kubičnih metara

### ***1.5. Sigurnost***

Transport ukapljenog plina preko mora zahtjeva specijalne tehnike i mjere kako bi se minimalizirao rizik zbog opasne prirode samog tereta. Osnovni dizajn ovog broda je isti tri desetljeća jer ni jedan brodovlasnik ne želi da baš njegov brod bude eksperimentalni u razvoju nove tehnologije i sistema gradnje. Ovaj tip transporta zadovoljava sve ekološke uvjete.

Rizici prilikom baratanja LNG-om potječu od tri njegove karakteristike: raspršenje, zapaljivost i proizvodi izuzetno niske temperature. Izuzetno hladan LNG može nanijeti direktne posljedice i prouzročiti ozljede odnosno štete. Oblak pare koji nastaje prilikom prolijevanja može nošen vjetrom dospjeti u naseljena područja, a ako je koncentracija plina u toj pari između pet i 15% onda je ta para vrlo lako zapaljiva. Vatra nastala na taj način daje izuzetno visoke temperature. Povoljna strana isparivanja LNG-a je to da se grije i da se para diže u zrak (stvorena plinska para je lakša od zraka). Štetnog utjecaja na zdravlje za posadu ne postoji jer nema doticaja s teretom ni njegovim parama.

LNG sam po sebi nije zapaljiv i izjave u smislu "LNG tankeri su ploveće bombe" nisu točne, jer budući da LNG nije zapaljivi ne može niti eksplodirati. Dokaz za to su mnogi incidenti koji su se dogodili (znatna istjecanja LNG-a, oštećenja nastala vremenskim neprilikama, sudari na moru), a da još nikad nije eksplodirao tanker s cijelim sadržajem. Zanimljiv podatak je da je za vrijeme osmogodišnjeg Iračko Iranskog rata LNG tanker pogodila raketa. Raketa je eksplodirala, a tank ne.

U svrhu unapređenja poimanja sigurnosti LNG-a napravljeno je puno modeliranja mogućih katastrofa. Npr. modelirano je katastrofalno izlivanje iz jednog spremnika tankera koji sadrži 25.000 kubnih metara LNG-a. Vrijeme do potpunog izgorijevanja prema rezultatima modeliranja iznosilo je 37 minuta u slučaju da je rupa u spremniku velika pet metara, a 64 minute ukoliko je rupa velika jedan metar. U slučaju rupe od jednog metra i vjetra koji puše brzinom 1,5 m/s donja granica gorivosti bila bi udaljena četiri kilometra od spremnika, a u slučaju vjetra od 5 m/s ta granica bi bila udaljena oko jednog kilometra. Donja granica gorivosti je koncentracija plina od pet posto (plin gori samo kad je u koncentracijama između pet i 15%). Veća brzina vjetra omogućava brže miješanje okolnog zraka i plina, pa je zbog toga donja granica gorivosti bliže izvoru, iako bi se na prvi pogled moglo zaključiti da veća brzina vjetra znači i da je donja granica gorivosti dalje od izvora. Ako se plin zapali u velikim količinama izračunato je da će na udaljenosti od 300 metara za 60 sekundi postati toliko vruće da će ljudi početi osjećati bol.

Terorizam tj. namjerno izazivanje prolijevanja i zapaljenja plina je trenutno najzanimljiviji kao mogući scenarij velike katastrofe. Amerika zbog toga ima strogo određena pravila za plov tankera punih LPG-a. Brzi brodovi prate i štite tanker prilikom uplovljavanja u terminal te prilikom istovara tereta. Prilikom plova tankeru se ne smiju približavati plovila na udaljenost manju od 450 metara sa svake strane, te 3,2 kilometra ispred i iza broda. Za prekršitelje su određene visoke kazne (čak do deset godina zatvora), ali to vjerojatno neće spriječiti teroriste samoubojice da se pokušaju zabiti u brod. Ako se terminal za ukapljeni plin izgradi u Hrvatskoj, morat će se zakonski regulirati i sigurnost plovidbe broda koji prevozi LNG. To će biti težak proces je trenutno niti Amerika nema u potpunosti definirane te zakone (npr. nije

potpuno definirano što obalna straža treba učiniti ako neko plovilo uplovi u sigurnosnu zonu oko tankera), a dodatnu zabrinutost uvodi i činjenica da su se teroristi uspjeli čamcem zabiti u dobro čuvani vojni brod USS Cole.

Neki veći incidenti koji uključuju LNG, a dogodili su se u novije vrijeme:

- 01.2004 - uređaj za pretvaranje vode u paru je eksplodirao i prouzročio još veću eksploziju plinskog oblaka u Alžiru. Eksplozija je uništila dio LNG postrojenja, a bilo je mrtvih i ranjenih i izvan postrojenja.
- 07. 2004 - eksplodirao je cjevovod između Belgijske luke Zeebrugge i sjeverne Francuske, 23 žrtve.
- 08. 2005 - 28 inčni podzemni cjevovod je eksplodirao u Nigeriji, rezultirajući požarom koji se proširio na 27 kvadratnih kilometara.

## 2. LNG TANKERI

### 2.1. Vrste tankova za prijevoz ukapljenog plina

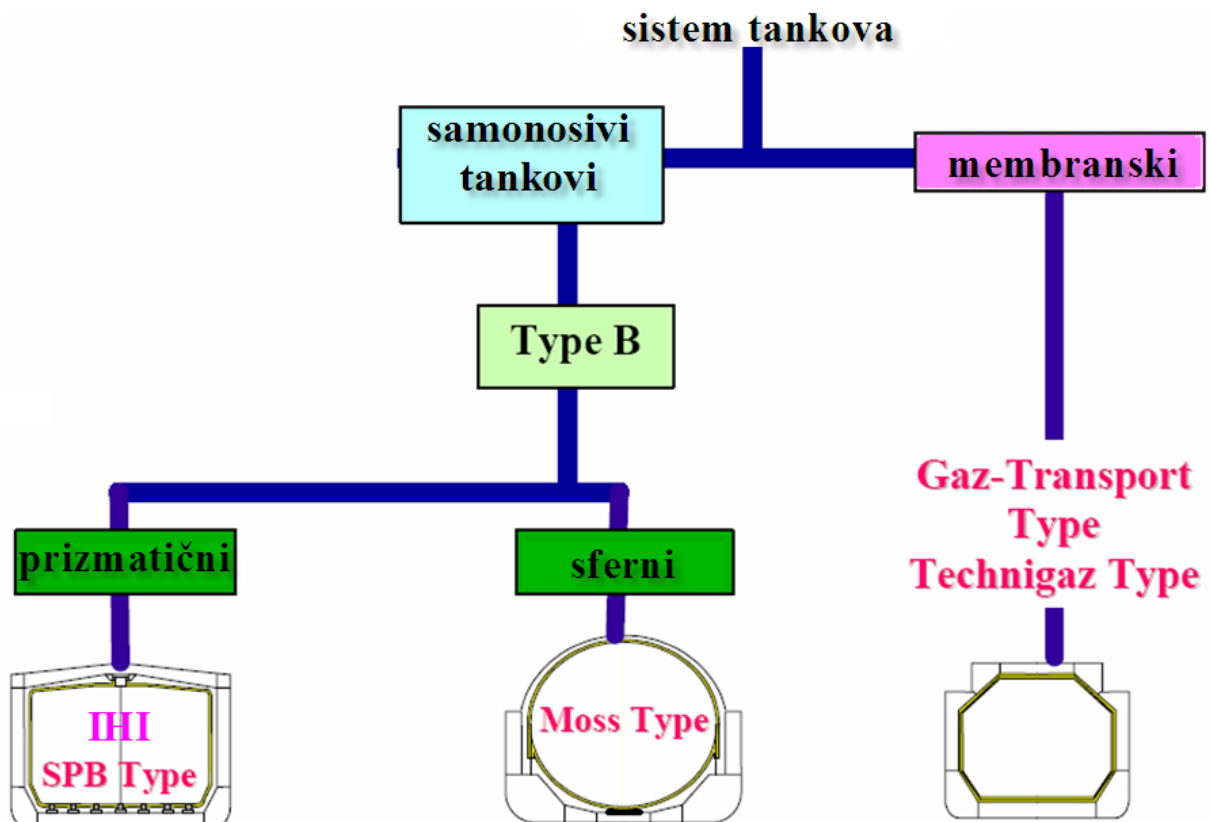
Danas su prisutna na tržištu tri tipa tanka:

sferični samonosivi neovisni, prizmatični neovisni i membranski tankovi.

LNG brodovi uglavnom prevoze ukapljeni plin u četiri, pet ili šest tankova.

Danas u eksploataciji su se svojim prednostima zadržala sljedeća četiri sustava spremnika:

- Gaz transport membranski
- Technigaz membranski
- Moss tank tip B (sustavi sa samonosivim sferičnim spremnicima)
- IHI SPB tip B (sustavi sa samonosivim prizmatičnim spremnicima)



Slika 8: podjela LNG tankova

- **Samonosivi sustavi** – spremnici samonosivih sustava nisu dio broskog trupa, ne prenose sile na njega i ne utječu na njegovu čvrstoću.
- **Sustavi s membranom** – ovi sustavi su integrirani zajedno sa trupom, spremnici nisu samonosivi i opterećenjem utječu na čvrstoću broskog trupa. Višestruke membrane kompenziraju toplinske dilatacije (Naime, poznato je da kod promjene temperature stijenke cijevi dolazi

Pojedine vrste spremnika, tkz. sekundarna barijera dijeli od ostatka brodske strukture. Njena je svrha zadržati i spriječiti curenje izvan spremnika u brodski prostor za period od najmanje 15 dana, kako bi brod u potpunoj sigurnosti doplovio do odredišta. Za membranske, polumembranske i nezavisne spremnike tipa A zahtjeva se potpuna sekundarna barijera-membrana, koja mora moći zadržati ukupnu količinu ukapljenog plina.

Tip B nezavisnih spremnika može imati djelomičnu sekundarnu barijeru, jer se pretpostavlja da curenje tereta ne može biti značajno.

Tip C ne treba imati sekundarnu barijeru.

Membranski sustav bolje koristi prostor pa za isti kapacitet imaju manje dimenzije. Sferični zbog manje površine imaju manje izolacije, ali im je ukupna težina veća zbog težine cilindričnih nosača. Zbog posrednog spoja sa oplatom zaštićeni su od sudara i nasukavanja. Najveća prednost sferičnih i prizmatičnih spremnika je što se izrađuju nezavisno od trupa broda na odvojenoj lokaciji i ugrađuju kod visoke gotovosti broda, čime se osigurava bolji nadzor kvalitete izrade i kraće rokove isporuke. Membranski sustav bolje koristi prostor pa za isti kapacitet imaju manje dimenzije. Sferični zbog manje površine imaju manje izolacije, ali im je ukupna težina veća zbog težine cilindričnih nosača. Zbog posrednog spoja sa oplatom zaštićeni su od sudara i nasukavanja. Najveća prednost sferičnih i prizmatičnih spremnika je što se izrađuju nezavisno od trupa broda na odvojenoj lokaciji i ugrađuju kod visoke gotovosti broda, čime se osigurava bolji nadzor kvalitete izrade i kraće rokove isporuke.



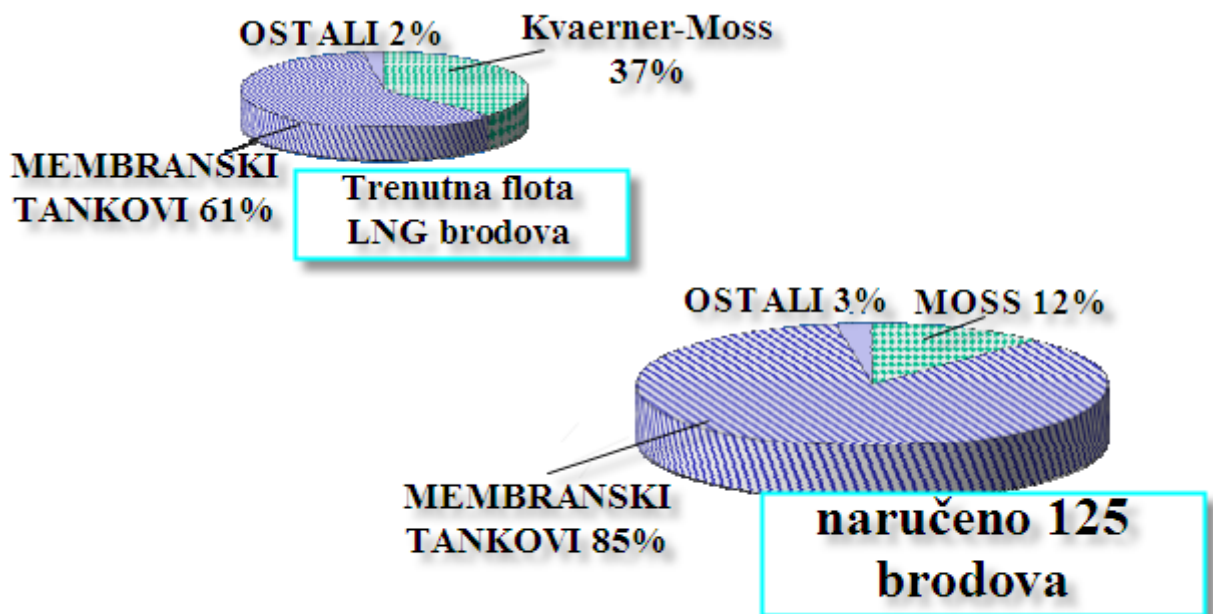
Prednosti samonosivih sferičnih spremnika:

- manji rizik kod sudara i nasukavanja
- bolja mogućnost kontrole i bolji uvjeti izrade
- punjeje bez ograničenja visine
- bolja mogućnost sakupljanja isparenog plina
- smanjen utjecaj djelovanja slobodne površine tereta

Prednosti membranski spremnika:

- manje dimenzije za isti kapacitet
- manja propulzijska snaga
- manje nagrade

Zbog manjih troškova gradnje se povećava trend gradnje membranskih spram samostojećih tankova. Prije desetak godina su 60% svih narudžbi činili membranski tankovi, dok su danas zastupljeni u preko 85% LNG brodova. IHI koncept je primjenjen u malom postotku (oko 2%).



Slika 9: Udio pojedinog tipa tanka u ukupnoj floti LNG tankera

### *2.1.1. Usporedba značajki*

Razlika između dva temeljna koncepta LNG broda vidljiva je na prvi pogled zbog njihovog karakterističnog i prepoznatljivog izgleda (vidljivo iz slike 10). Donja tablica prikazuje prednosti i nedostatke osnovnih tipova LNG broda, dimenzije i ponašanje broda u službi, karakteristike u pogledu gradnje i potrebnih investicija u tehnologiju. Kod membranskog tipa LNG broda volumen tanka definiran je dimenzijom trupa i širinom dvostruke oplata, dok je kod sfernog tipa LNG broda standardnim dimenzijama tanka. Membranski tip broda ima bolju iskoristivost volumena trupa, budući da kod njih nema praznog prostora između tanka i unutrašnje oplata trupa, što znači da taj tip broda za isti kapacitet tankova ima manje dimenzije, a time i manju istisninu. To povlači za sobom i brojne druge prednosti, prvenstveno niže lučke i kanalske pristojbe, zatim manju snagu pogonskog stroja za postizanje iste brzine. Usporedba visine pokazuje da su membranski tankovi niži pa je samim tim i težište za pune tankove niže nego kod sfernog tipa LNG broda. Zbog visine kupola koje se uzdižu i do 15m iznad gornje palube, ovaj tip broda ima veću lateralnu površinu u odnosu na membranski tip što mu stvara i veći otpor zraka u plovidbi, a utječe i na upravljivost broda prilikom sidrenja.

Zbog sfernih teretnih tankova koji vire visoko u vis kroz gornju palubu i dodatne opreme koja se postavlja na palubu, uvelike je ograničeno vidno polje u svim smjerovima, što zonu slabe vidljivosti kod ovog tipa broda proteže čak do 820 m ispred pramca. Kod membranskog tipa je gornja paluba potpuno ravna pa je ta duljina znatno manja i iznosi 360 m. Također je lakši smještaj sistema cjevovoda i pumpi za teretne tankove, bolje održavanje opreme i njeno bojanje, tj. briga o antikorozivnoj zaštiti za vrijeme eksploatacije.



Slika 10: Vizualna usporedba LNG tankera sa sfernim i membranskim tankovima

Jedna od prednosti sfernog nad membranskim spremnikom je znatno manji sloshing, dakle mogućnost vožnje u djelomično nakrcanom stanju. Također je, sa strane sigurnosti, bitno što sferni tankovi ne ispunjavaju čitav unutrašnji prostor trupa broda pa se u slučaju oštećenja tanka osoblje može zavući u prostor između oplata teretnog tanka i unutrašnjeg trupa broda te obaviti vizualnu kontrolu i eventualni popravak. Naravno, to bi bilo nemoguće kod broda s membranskim sistemom tankova.



Slika 11: Prikaz LNG tankova unutar broda sa sfernim, odnosno membranskim spremnicima

## ***2.2.Materijali za izradu sustava tankova***

Temperatura od  $-162^{\circ}\text{C}$  je jako niska čak i za materijale otporne na niske temperature. Kod većine standardnih materijala pri dolasku u kontakt s LNG dolazi do krtosti i pucanja materijala zbog pothlađivanja. Zbog toga su cijevi i okolni dijelovi tankova građeni iz posebnih materijala otpornih na spomenute temperature i bez gore navedenih mana. Materijali koji se preferiraju za konstrukciju tankova su aluminij i nehrđajući čelik. Naravno, ostali dijelovi broda su napravljeni od tradicionalnog materijala-ugljičnog čelika. Velika važnost se pridaje zaštiti od izlivanja plina. Bilo kakav dodir ostatka strukture s tekućim hladnim plinom bi izazvao velike štete i potrebu za remontom. Ovakvih nesreća je bilo,na sreću bez ljudskih života, ali uz poprilične financijske gubitke za brodovlasnika jer brod nije plovio određeni period.

Materijali koji se koriste za izradu LNG postrojenja biraju se na osnovi svoje postojanosti na spomenutoj temperaturi ukapljenog plina. Čelik se zbog svoje krtosti obogaćuje sa elementima koji mu poboljšavaju svojstva, kao što su aluminij, bakar, austenitno željezo, krom, nikal, kobalt...

Materijali sa udjelom aluminija, bakra i nikla su:

- monel ( Ni 70, Cu 30 )
- inconel ( NI 78, Cr 15, Fe 7 )
- aluminij ( Al 99,8 )
- AG4MC ( Al 95, Mg 4, Mn 0,4, Cr 0,2 )
- bakar-aluminij ( Cu 91, Al 9 )
- bakar-nikal ( Cu 70, Ni 30 )

Austenitni čelici koji se koriste na instalacijama kriogenih rashladnih sustava su:

- inoks 18/8 ( Cr 18, Ni 8 )
- invar ( Ni 36 )
- 9 postotni nikal čelik

### ***2.3. Izolacijski materijali***

Osnovna zadaća izolacije kod LNG postrojenja je da spriječi niske temperature na dvostrukoj oplati broda i da smanji isparavanje tereta. Materijali koji se koriste na LNG postrojenjima su:

- mineralni (azbest, staklena vuna, mineralna vuna i perlit)
- organski (vuna, pamuk, pluto i filc)
- sintetički (PVC, polistirol, ekspandirajuća poliuretanska pjena)

### ***2.4. Zahtjevi i propisi***

Obzirom na karakteristike samog tereta, pri projektiranju, gradnji i eksploataciji se susrećemo s velikim rizicima koji doprinose posebnosti ove vrste broda: niske temperature (do  $-163^{\circ}\text{C}$ )

- visoki tlakovi
- zapaljivost i eksplozivnost (u postocima spomenutim u uvodu)
- toksičnost
- korozivnost

1973. godine IMO je izdala IGC Code " The International **Code** for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk ", sada uvršten u SOLAS Chapter VII, Part C, a odnosi se na projektne i konstrukcijske standarde primjenjive za ove brodove kako bi se smanjio rizik za brod, posadu i svakako očuvala okolina.

Ta pravila se odnose na:

- Sposobnost broda za preživljavanje
- Opći plan i smještaj tankova na brodu
- Projekt teretnih tankova
- Sistem cjevovoda na brodu

- Materijal za konstrukciju tankova i opreme
- Ventilacijski sistem teretnih tankova
- Sistem za regulaciju pritiska i kontrolu temperature
- Električne instalacije
- Protupožarni sustav na brodu
- Zaštita posade broda
- Ograničenja u razinama krcanja teretnih tankova
- Korištenje tereta kao pogonskog goriva (boil-off rate)
- Zahtjevi koje mora zadovoljiti oprema za rukovanje teretom

Da bi mogao ploviti, brod za prijevoz prirodnog ukapljenog plina mora zadovoljiti sva pravila koja uključuju važne zahtjeve vezane za izgradnju:

- International Gas Carrier Code "IGC Code",  
SOLAS Chapter VII, Part C
- Posebna pravila određena od strane Registra
- Četiri specijalna zahtjeva postavljena od strane Američke Obalne Straže

### 3. PODJELA SUSTAVA LNG SPREMNIKA

#### *3.1. Moss tank tip B (sustavi sa samonosivim sferičnim spremnicima)*

Nastao u Norveškoj kompaniji Moss Maritime 1971.godine, Moss LNG carrier sa sfernim, aluminijskim LNG tankovima je najsigurniji i najpouzdaniji sistem prijevoza LNG-a na tržištu. Sferni tankovi nude jednostavnost u izradi i rukovanju prilikom postavljanja, i nakon više od 30 godina upotrebe dizajn Moss LNG tanka design ostaje neusporediv po pitanju pouzdanosti. Posebna prednost kod ovog tipa dizajna je izuzetak sekundarne membrane koju ima membranski tip tanka kao i tip A neovisnih tankova. Pred projektantima je već na početku bio izazov kako bez sekundarne membrane zadržati jednako dobre karakteristike. Također je trebalo pronaći optimalne materijale za tako niske temperature i odrediti im debljinu. Prva dva broda proizašla iz Rosenberga su imali tankove od 9% NI-čelika, svi ostali do danas od aluminijeve legure ASTM 5083.

Jednostavan oblik Moss LNG tanka omogućuje visoku točnost predviđenog naprezanja i zamornog vijeka trajanja svih dijelova structure tanka te se samim tim gubi potreba za punom sekundarnom membranom. Djelomičnu sekundarnu membranu čini oplata tanka uz potporu izolacijske structure. Za razliku od membranskog tipa tanka kod kojeg sloshing predstavlja problem, kod ovog modela nema ograničenja u razinama popunjenosti teretnih tankova jer je zbog sfernog oblika smanjen utjecaj djelovanja slobodne površine tereta. Brod može ploviti i s djelomično napunjenim tankovima. U slučaju da za vrijeme službe broda dođe do curenja tereta iz pukotine koja nije otkrivena za vrijeme radova na tanku, koriste se takvi materijali koji moraju spriječiti širenje pukotine do nastupanja loma. Spomenuta mikrocurenja se nakupljaju u djelomičnoj sekundarnoj pregradi. Tada senzori detektiraju prisutnost plina na vrijeme i samim tim spriječavaju štetu koja bi nastala ako ostatak konstrukcije dođe u doticaj sa tekućim plinom niske temperature. Sama sekundarna pregrada bi po zahtjevima Registra morala izdržati 15 dana plovidbe u najgorim uvjetima plovidbe, a da pukotina ostane na početnim dimenzijama, odnosno da se ne proširi do kritične

veličine. Moss LNG tankovi su neovisni o brodskom trupu jer su samostojeći i samim tim nemaju utjecaja u čvrstoći trupa. Ne ispunjavaju čitav prostor unutrašnjeg trupa broda pa su neosjetljiviji na eventualne sudare nasukavanje. Dakle, u slučaju manjeg oštećenja trupa ostaju netaknuti. Deformacije uslijed toplinske dilatacije se ne prenose s tanka na trup broda. Po jedan cilindar, tkz. suknjica podupire svaki tank. Suknjica je zavarena za sferu u njenom ekvatoru i čini ekvatorijalno profil. Spoj suknjice za konstrukciju trupa je izveden zavarom klasičnog tipa. Teretni tankovi i gornjih 1-2 m suknjice se mogu slobodno stezati za vrijeme hlađenja. Stezanje tanka za vrijeme hlađenja od ambijentalne temperature do temperature -163°C iznosi oko 140 mm za 40 metarski tank. Ovaj omjer stezanja između tanka i trupa svojim gornjim dijelom pokriva podupiruća suknjica koja je izolirana. Osnovni elementi tanka su:

- ekvatorijalni prsten (srednji dio sfere, nalazi se na spoju dviju polutki, strojno oblikovan u specijalni geometrijski oblik da bi se maksimalno smanjilo koncentriranje naprezanja. Sastoji se od utora u kojem se s jedne strane zavaruju limovi oplata tanka, a u sami utor nasjeda suknjica.
- sferni segmenti
- toranj i njegove veze (po jedan unutrašnji toranj se nalazi u središtu svakog tanka. Zavaren je za oplatu tanka na gornjem i donjem dijelu. Da bi se izbjegla nepovoljna naprezanja u strukturi, na dno tornja postavlja se fleksibilna baza koja kompenzira mehaničke i toplinske dilatacije oplata, tanka i tornja. Unutar tornja se nalaze pristupne ljestve, cjevovodi za teret, električni kabeli, dok su u dnu tornja smještene dvije električne pumpe za iskrcavanje tereta. Na gornjem dijelu tornja se nalazi sistem za rasprskavanje koji spreja ukapljeni plin u unutrašnjost tanka. Na taj način se izbjegne pojava temperaturnih šokova u materijalu oplata tanka koja bi nastala uslijed naglog ukrcavanja tereta u tankove bez prethodnog pothlađivanja. Na sredini visine tornja se nalazi platforma koja služi za inspekciju tanka. Toranj mora imati dovoljnu čvrstoću da izdrži udare tekućine tj. utjecaj slobodne površine kod djelomično napunjenih tankova (sloshing).



- suknjica (čini jedinu vezu tanka sa strukturom trupa, ona tank pridržava i centrira ga u teretnom prostoru. Stvara cjelovitu strukturu s trupom broda. Ona osim što podupire tank ima ulogu i kao izolator trupa broda od utjecaja niske temperature tereta u tanku.
- elementi kupole (Postavlja se na vrh svakog tanka i zavarena je za konstrukciju tornja. Prodire kroz zaštitni pokrov tanka i učvršćena je fleksibilnim gumenim membranskim spojem. Svi spojevi cjevovoda, pristupni otvori i drugo, nalaze se na vrhu kupole. Dio kupole koji se nalazi iznad zaštitnog pokrova tanka mora biti izoliran od vatre.

Oplata tanka, unutrašnji toranj i gornji dio podupiruće suknjice su napravljeni od aluminijske legure A5083-0. Donji dio suknjica dijelom je napravljen od nehrđajućeg i neskotemperaturnog čelika. Tank je obično podijeljen u sedam horizontalnih zona.

### ***3.1.2. Antikorozivna zaštita***

Aluminij ne hrđa. Može korudirati kada je u kontaktu s drugim metalom ili zalutalom električnom strujom. Nije ga potrebno bojati niti zaštititi nekim premazima da bi se zadržala njegova osnovna svojstva.

### ***3.1.3. Izolacija***

Izolacijski sistem ima dvostruku ulogu: jedna je da smanji prodor topline i spriječi isparavanje plina u velikoj mjeri (boil off), a druga da zaštiti materijal trupa broda od utjecaja niskih temperatura tereta. Djelomična sekundarna pregrada koja karakterizira B tip sfernog teretnog tanka sastoji se od oplata tanka i potporne izolacijske strukture. Plino nepropusni štiti od aluminijske folije postavljen je na izolaciju s njene vanjske strane da bi zadržao eventualno curenje iz teretnog tanka i usmjerio kapljevину kroz sloj izolacije u posudu za sakupljanje tekućine. Kanal za sakupljanje kapljevine se nalazi na dnu tanka i zatvoren je hermetičkom membranom koja spriječava prodor vlage izvana. Na vrhu tanka se nalazi posuda za sakupljanje isparenog plina, a isparavanje bi se eventualno moglo dogoditi unutar 15 dana od pojave pucanja tanka uslijed zamora materijala. Na temelju tog uvjeta se spomenute posude i dimenzioniraju.

Izolacijski materijal je obično kruta plastična pjena od polistirena, poliuretana ili sl. Izolacijski sustav konstruiran je tako da sadrži elastične umetke da bi apsorbirao sile koje se javljaju za vrijeme hlađenja teretnog tanka. Izolacija se postavlja na metalnu površinu tanka te se slobodno širi i skuplja s promjenom temperature. U prostor između izolacijske obloge i oplata tanka upuhuje se dušik kako bi se onemogućio ulaz vlažnog zraka i pojave leda. Dušik se također upuhuje i u prostor između tanka i suknjice u zoni ekvatorijalnog prstena. Prostor oko tanka u unutrašnjosti trupa broda, kao i prostor oko tanka ispod dodatnog zaštitnog pokrova se puni suhim zrakom. U hitnim slučajevima se može i inertirati inertnim plinom argonom u svrhu neutralizacije okolne atmosfera i izbjegavanja mogućnosti pojave požara ili eksplozije.

Prisutna su dva sistema postavljanja izolacije:

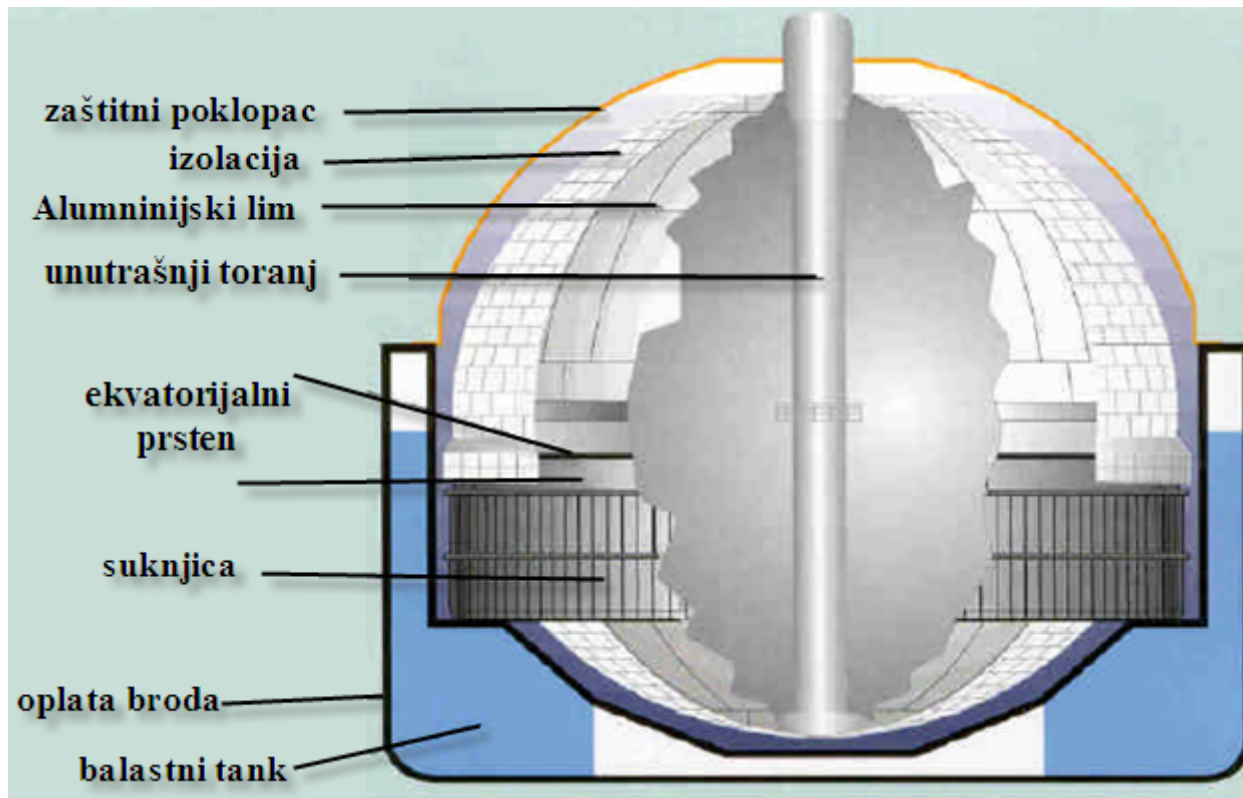
- sistem panela (obuhvaća montažne panele veličine 1.1x1.2m )
- sistem spiralno proizvedene izolacije (kontinuirana traka izolacijskog materijala opskrbljuje glavu preslice koja putuje oko površine tanka na specijalnoj samarici)

Karakteristike LNG tankera sa Moss sfernim tankovima:

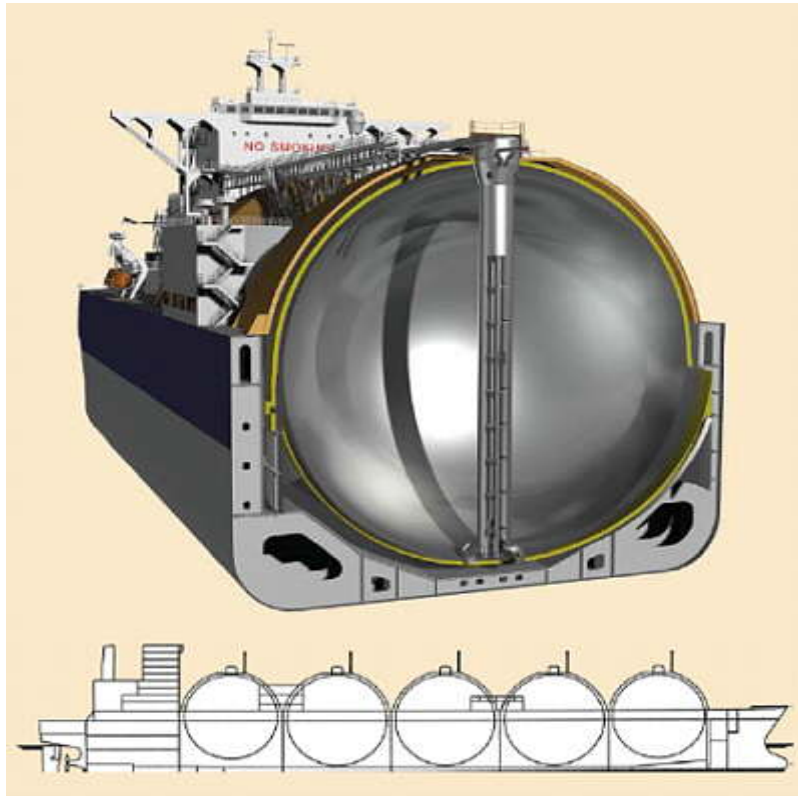
- Volumen tankova 147,000 - 270,000 m<sup>3</sup>
- 4-5 sferna tanka u jednom Moss LNG tankeru
- Dimenzije tanka: promjer unutrašnjeg dijela 40.44 m, debljina Al legure 30-169 mm. Težina sfere s gornjim dijelom podupiruće suknjice iznosi 900 tona
- Brzina u službi: 19.5 - 22.0 čvorova
- Propulzija: sporohodni Diesel motor, parna turbina, Diesel električna ili kombinirana cycle gas turbines, s jednim ili dva propelera

Trup kod Moss sistema treba biti malo veći za jednaki volumen tereta. Nadgrađe je veće zbog bolje preglednosti koja je i unatoč tome slabija zbog visine tankova. Samim

tim mu se više naplaćuje prolazak kroz Suez. Tankovi djelomično izbijaju kroz glavnu palubu što LNG Moss tankerima daje specifičan izgled.



Slika 12: Dijelovi sfernog tanka



Slika 13: Moss design (Moss Maritime)



Slika 14: Ugradnja kod visoke gotovosti broda, čime se osigurava bolji nadzor kvalitete izrade i kraći rokovi isporuke

**Slika**

**15:Moss**

**LNG**

**tankeri**

#### 4. HI SPB TANK (Self Supporting Prismatic IMO Type B) – SUSTAVI SA SAMONOSIVIM PRIZMATIČNIM SPREMNICIMA

Spadaju u red samonosivih, nezavisnih spremnika izrađenih od aluminija koji se oslanjaju na trup posredno preko nosača. Nosači slobodno dilatiraju i prenose opterećenje.

Ovaj tip tanka je prvi put postavljen u LNG tanker 1965.godine.Imaju relativno mali postotak isparavanja plina (boil off) zbog učinkovite izolacije koja se sastoji od blokova materijala koji su dobri izolatori topline.Velika prednost ovih tankova je što se, bez obzira na postotak popunjenosti tanka ne javlja sloshing što je jako korisno ako se plin istovaruje na više mjesta pa prevozi poluprazne tankove.Karakteristično samo za ove tankove je pregrada koja se nalazi unutar tanka.



(IHI SPB Cargo Tank)

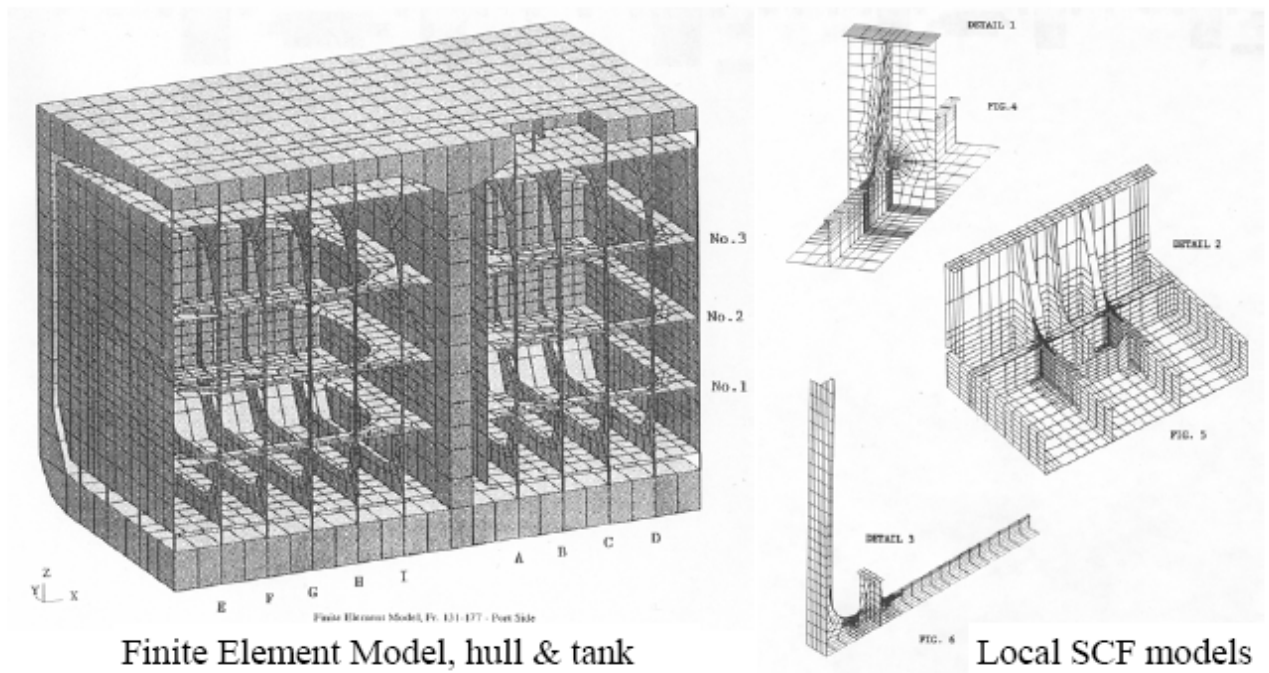
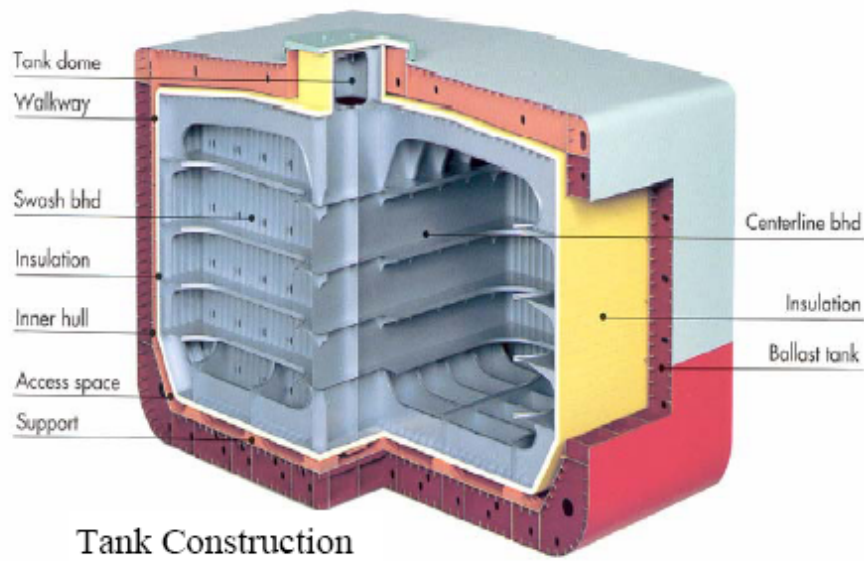


(IHI SPB LPG FSO under operation)

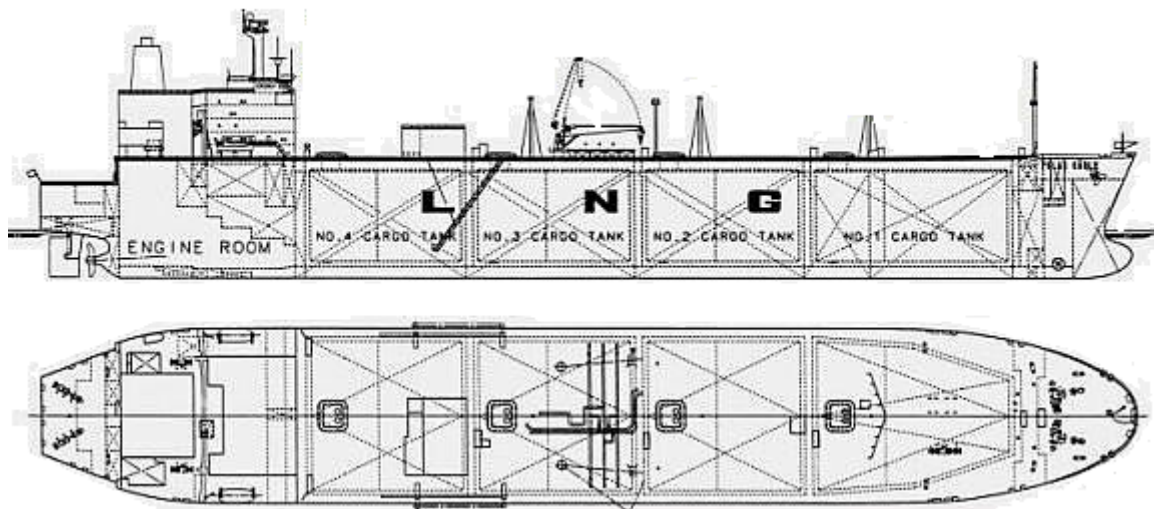


(IHI SPB LNG Carrier)

Slika 16: IHI SPB LNG tankovi



Slika 17: Prikaz unutrašnjosti IHI SPB LNG tanka



Slika 18: LNG tanker s IHI SPB tankovima tereta



## 5. MEMBRANSKI SISTEM TANKOVA

### *5.1. Razvoj membranskog sistema tanka*

Početak membranskih tankova je ležao u samoj ideji o opremanju teretnih tankova kriogeničkom presvlakom koja bi omogućila direktno krcanje prirodnog ukapljenog plina u tank. Povećana je dobit u brodskom teretu za koji se plaća vozarina i optimizirana iskoristivost volumena teretnih tankova. Novi koncept kriogeničke presvlake u potpunosti je iskoristio korisnu nosivost broskog trupa a pritom ga štiti od utjecaja niskih temperatura. Spomenute presvlake su se razvijale tijekom godina i nazvane su membrane zbog svojeg mehaničkog ponašanja. Unaprjeđivanjem tih membrana su se mnogi znanstvenici bavili, ali nijedan nije prezentirao u potpunosti prihvatljivo rješenje. U Technigazu su vjerovali da se ta polazna legura mora zamijeniti nehrđajućim čelikom sa vrlo malim sadržajem ugljika koji bi imao dobra zavarivačka svojstva, dobru otpornost na koroziju u morskoj atmosferi, koeficijent ekspanzije upola manji od aluminija, dobru otpornost na zamor i odličnu otpornost na nisku temperaturu bez pojave krtosti. Sistem se sastojao od dvostruke metalne membrane (primarne i sekundarne) od nehrđajućeg čelika, te dvostruke izolacije, također primarne i sekundarne. Raspored slojeva je bio: primarna membrana direktno u kontaktu sa teretom, iza nje slijedi primarna izolacija, sekundarna membrana pa sekundarna izolacija koje je direktno u kontaktu sa dvostrukom oplatom trupa broda. Zbog higroskopskih svojstava izolacija od kamene vune je zamijenjena plastičnom pjenom koja se lijepila između dva komada šperploče i postavljala između membranskih pregrada. U tom periodu razvoja se uvodio INVAR – čelik sa 36% nikla kojem je karakteristika nepromjenjivost na niskim temperaturama. 1965. g. je registriran patent membranskih tankova napravljen od INVARA.

## ***5.2. Tehničke specifičnosti broda s membranskim tipom tankova***

Koncept ovog tanka potpuno integriranog u strukturu broda omogućava očuvanje kontinuiteta dvostruke oplata broda. Karakteristike ovog broda su:

- izuzetna otpornost na sudare na moru zbog svoje dvostruke oplata i dvodna
- teretni tankovi zaštićeni su na jedinstveni način od opasnosti pojave vatre na palubi dvostrukom palubom s balastnim odjeljcima (balastni odjeljci služe kao pokrov od morske vode koji izolira tankove od vatre na gornjoj palubi)
- donji dio teretnog tanka zaštićen je od rizika nasukavanja specijalno strukturiranim kontinuiranim dvodnom
- izvrsna mogućnost manevriranja pri jakom vjetru što omogućava pristajanje bez potrebne asistencije jer je utjecaj poprečnog vjetra mali zbog vrlo niskih izbočina na gornjoj palubi, tj. manje lateralne površine izložene vjetru nego što je to bio slučaj kod brodova sa sfernim tipom tanka
- odlična vidljivost s kontrolnog mosta u svim smjerovima

Volumen tankova je ograničen dimenzijama trupa broda tj. širinom broda i poprečnim pregradama, a spremnici su obloženi kriogeničkom presvlakom – izolacijom koja je slijedećeg sastava:

- izolacijski sloj koji je u kontaktu s dvostrukom oplatom broda, a naziva se sekundarna termalna membrana
- ovojni pokrivač nepropusan za plin i tekućinu koji se postavlja na izolacijski sloj, a naziva se sekundarna membrana
- drugi izolacijski sloj poduprt prethodnim, pri čemu se u sendvič postavlja sekundarnu membranu, a naziva se primarna termalna membrana
- sekundarni ovojni pokrivač nepropusan za plin i tekućinu, a postavlja se na prethodni izolacijski sloj. Naziva se primarna membrana jer je direktno u kontaktu s tekućim teretom.

Svaki obloženi spremnik je teretni tank prilagođen vrsti tereta, tj. Prirodnom ukapljenom plinu temperature  $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$  i gustoće  $0.47\text{ t/m}^3$  (max.  $0.5\text{ t/m}^3$ ). Na slici 13

je prikazan smještaj teretnog tanka u trupu broda pri čemu je vidljivo da su granice teretnog tanka formirane unutrašnjim trupom, dvodnom, bokovima i palubom te da su za razliku od sfernog koncepta teretnih tankova nema praznog, neiskorištenog prostora u strukturi unutrašnjeg dijela trupa što dokazuje bolju iskoristivost volumena broda. Obzirom da membranski tip tanka čini sastavni dio brodske strukture i samim tim ulazi u proračun čvrstoće broda, vrlo su bitna opterećenja i naprezanja broskog trupa koja utječu na naprezanja u teretnom tanku i obratno. Uzdužni moment savijanja kod broda na valovima za brod duljine 280 m može uzrokovati fleksiju i do 1 m.

Uz to se javljaju naprezanja uzrokovana niskom temperaturom materijala te naročito velika naprezanja uslijed djelovanja slobodne površine u tanku koja se prenose na strukturu trupa. Utjecaj zapljuskivanja (sloshing) je naročito velik kod membranskih tankova zbog velikih dimenzija tanka, nepovoljnog oblika i nedostatka eventualne pregrade u njegovoj unutrašnjosti koja bi ga umanjila. Zato je vrlo bitno, a i propisano je i zahtjevima Registra, ispitati porast zapljuskivanja tereta prilikom gibanja broda, posebno za različite nivoe punjenja tanka u rasponu od 10 % do 90 % volumena i to u intervalima od po 5 % porasta volumena. Isto tako, potrebno je ispitati čvrstoću poprečnih pregrada i pregrada boka tanka. Izmjereni tankovi se moraju usporediti s maksimalno dozvoljenim opterećenjem nosača i oplata tanka. Kod novogradnja je moguć zahtjev za povećanjem dimenzija pojedinih nosača da bi zadovoljili narinuta opterećenja. Moguće su i druge opcije za povećanje čvrstoće, ali ne ovise o predviđenoj tehnologiji izrade tanka. Specijalni zahtjevi provode se na wing tankovima.

Specifično za membranske LNG brodove je da analiza zapljuskivanja demonstrira jak utjecaj tlaka na membranu pri vrhu poprečnih pregrada i pregrada boka tanka. Tankovi su opremljeni indikatorima za razinu tekućine u tanku, viškove i eventualno prelijevanje tekućine iz tanka, instrumentima za mjerenje tlaka i temperature, detektorima vatre za očitavanje razine kisika u tanku jer je poznato da metan u doticaju sa zrakom postaje zapaljiv ako koncentracija zraka poraste iznad 5%.

Da bi se to spriječilo, zrak koji se nalazi u izolacijskim zonama između dviju membrana mora se zamijeniti dušikom pod laganim pritiskom. Takav sistem se primjenjuje i u samim tankovima, da bi se spriječila opasnost od pojave vatre. Kada se tankovi napune teretom, slijedi inertiranje. Inertiranje se vrši uvođenjem inertnog plina

na dno tanka i evakuiranjem zraka sa njegovog vrha dok razina kisika u tanku ne bude manja ili jednaka 5%. Budući da je specifična masa inertnog plina veća od specifične mase zraka, inertni plin prirodnim putem, tj. takozvanim "klipnim efektom" istiskuje zrak prema gore. Inertni plin je najčešće argon. U tanku također postoji i sistem sušenja da bi se smanjila vlažnost zraka i tako spriječilo nastajanje ledenih kristalića za vrijeme hlađenja. Ovi ledeni kristalići mogu blokirati ventile ili začepiti cijevi opreme za kontroliranje. Sušenje se vrši tako da se svježi zrak uvodi na dno tanka i klipnim sistemom istiskuje vlažni zrak prema vrhu tanka koji se potom izvodi van, dok se ne postigne propisana granica vlažnosti. Nakon toga slijedi inertiranje tanka.

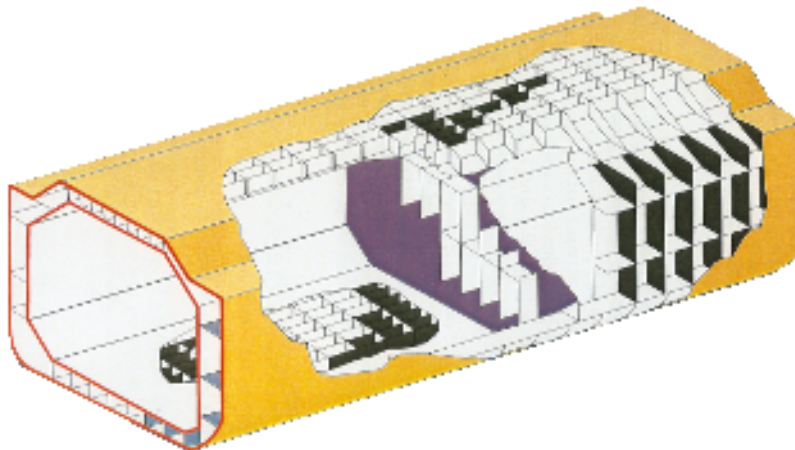
Prije punjenja tanka, unutrašnju oplatu tanka potrebno je rashladiti da bi se izbjeglo prekomjerno isparavanje ukapljenog plina u doticaju s oplatom tanka čija je temperatura znatno viša od temperature ukapljenog plina, ali i da bi se izbjegao temperaturni šok u materijalu oplata tanka i tako smanjila toplinska naprezanja u određenim njegovim strukturnim dijelovima. Proces hlađenja se osigurava sprejanjem ukapljenog plina putem mlaznica ili isparavanjem manje količine ukapljenog plina ukrcane na dno tanka. Ovim procesom mora se struktura tanka pripremiti na ukrcaj ukapljenog plina radne temperature od  $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nakon toga slijedi punjenje tanka pri čemu je maksimalno dozvoljena granica punjenja tanka 98.5%.

Dakle, membranski tankovi za razliku od sfernog koncepta nisu samostojeći, jer je tanka pregrada-membrana preko izolacije poduprta strukturom trupa. Jedan od načina kompenziranja termalnih kontrakcija, uzrokovanih prevelikom razlikom u temperaturi i velikom masom tereta, je izrada korugirane oplata od nehrđajućeg čelika oplata tanka kod modela Mark III, kako je prikazano na slici. Ili u modelu GT N°96 korištenjem Invar-čelika. U ovom tipu tankova teret se također održava pod pritiskom manjim od 0.25 bar i temperaturi od  $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za razliku od sfernog skladišnog sistema čije je projektiranje bazirano na proračunima, tj. sve glavne karakteristike mogu se potvrditi kroz teoretske proračune, kod membranskog tipa skladišnog sistema projektiranje je, velikim dijelom bazirano na eksperimentalnim istraživanjima, tj. glavne karakteristike početno su se potvrđivale kroz testiranje prototipa.

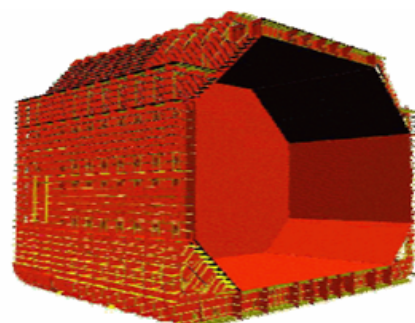
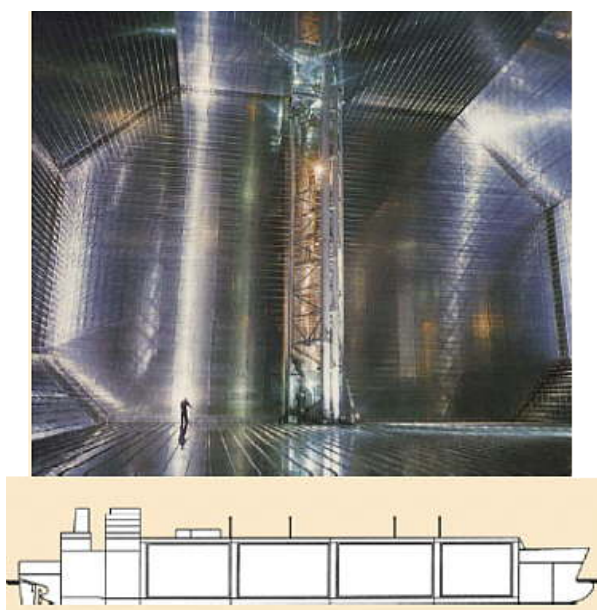
Brod u principu ima četiri tanka, a raspored i duljina tankova za brod kapaciteta 157 000 m<sup>3</sup> su navedeni u nastavku.



Slika 19: Poprečni presjek membranskog tanka



Slika 20: 3D prikaz membranskog tanka



Slika 21: Pogled u unutrašnjost membranskog tanka

### ***5.3. Materijali za izradu membranskog tanka***

#### ***5.3.1. Invar***

Invar legura je otkrivena 1896.godine ,a za njeno otkriće je znanstvenik Charles Edouard Guillaume 1920. dobio Nobelovu nagradu i postao najslavljeniji i najpriznatiji znanstvenik u povijesti na području metalurgije.Eksperimentirao je sa udjelom nikla u željezu u rasponu od 30 do 60 % i otkrio da je koeficijent rastezanja pri sobnoj temperaturi najmanji kod legure s udjelom nikla od 36 %,a svaka promjena postotka nikla u obje strane dramatično je povećavala taj koeficijent.Spomenuta legura nikla na sobnoj tempearturi ima najmanju temperaturnu ekspanziju od svih poznatih legura.Budući da je slavni znanstvenik ekspanziju svoje legure smatrao nepromjenljivom (eng. "invariable") postala je poznata kao INVAR.

Ekspanzijska karakteristika ove legure usko je određena i njenim magnetizmom.Ove legure imaju vrlo nisku ekspanziju ispod Curieve temperature (temperatura ispod koje su feromagnetične).Ova anomalija je poznata kao Invar-efekt.Iznad Curieve temperature 36% Ni-Fe i druge Ni-Fe legure ekspandiraju u visokom omjeru jer više nisu magnetične.Invar efekt je razvio čitavu porodicu niskoekspanzijskih Ni-Fe legura koje danas imaju široki spektar primjene. Uskoro se otkrila prednost Invara i u kriogeničke svrhe jer ova legura ima minimalno stezanje ,odnosno skupljanje pod utjecajem niske temperature pa je tako ona našla svoje mjesto i u brodogradnji za izradu tankova za prijevoz ukapljenih plinova pri niskim temperaturama.

#### ***5.3.2.Svojstva Invara***

Kod sobne temperature ove legure imaju nisku rastezljivost, da bi kod temperature tekućeg dušika od  $-196^{\circ}\text{C}$  ona bila približno jednaka nuli.Ovaj materijal ne korodira u normalnim radnim uvjetima niti u uvjetima izrade tanka u

brodogradilištu. Međutim, korozija se može pojaviti za vrijeme inertiranja tanka ukoliko se koristi nekvalitetan plin za inertiranje koji ima preveliku točku rosišta.

Kemijski sastav invar čelika je dan u tablici 1:

Tabela 1: Kemijski sastav Invar čelika

<b>ELEMENT</b>	<b>UDIO</b>
<b>ugljik</b>	<b>&lt; 0.04%</b>
<b>silicij</b>	<b>&lt; 0.25%</b>
<b>magnezij</b>	<b>0.2-0.4%</b>
<b>sumpor</b>	<b>&lt; 0.003%</b>
<b>fosfor</b>	<b>&lt; 0.008%</b>
<b>nikal</b>	<b>35-36.5%</b>
<b>željezo</b>	<b>preostalo</b>

Od Invar čelika se izrađuje nekoliko strukturnih oblika:

- Trake za oplatu membrane
- Rubovi traka
- Cijevi
- Trihedroni
- Grede (koriste se u dihedronima)

Trihedroni i dihedroni su osnovni strukturni dijelovi tanka koji su detaljnije opisani u slijedećim točkama.

### ***5.3.3. Izolacija***

Izolacijski materijal usporava nagli prijelaz u temperaturi između ambijenta i tereta. Postoji različiti materijali s tom svrhom i svi trebali zadovoljiti dolje nabrojane testove da bi ih Registar odobrio:

- Kompatibilnost s teretom
- Topljivost u sustavu tereta
- Apsorpcija tereta

- Skupljanje
- Starenje
- Gustoća
- Mehanička svojstva
- Termalna ekspanzija
- Abrazivnost
- Kohezija
- Toplinska vodljivost
- Otpornost na vibracije
- Otpornost na vatru i širenje plamena

Potrebna su i daljnja testiranja na temperature koje se kreću u rasponu od maksimalne očekivane temperature do one za 5° niže od najmanje projektne temperature. Najvažnije svojstvo materijala koji se koristi kao izolacija je usporavanje prijelaza topline u tank i iz njega. Vodljivost topline kroz izolacijski materijal poznata je kao toplinska vodljivost materijala, a označava se kao "k". Ta vrijednost se obično određuje u laboratoriju za svaki materijal koji se koristi kao izolacijski.

Izolacijski sistem kod membranskog tipa LNG brodova vrlo je složen i sastoji se od 4 dijela: primarne i sekundarne membrane te primarne i sekundarne toplinske izolacije.

### ***Sekundarna toplinska izolacija***

Sekundarna toplinska izolacija ima dvije uloge: služi kao toplinska izolacija i kao nosioc opterećenja sekundarne membrane. Sastoji se od kutija napravljenih od brezove ili bukove šperploče punjene perlitom koje su učvršćene iznutra uzdužnim i poprečnim pregradama od istog materijala. Te izolacijske kutije leže na jastučićima od mastiksa, tj. Smole koja kompenzira bilo koju neravninu unutrašnjeg trupa broda i osigurana je spojnim vijcima. Najčešće se koristi šperploča debljine 9mm osim kod ojačanih područja i kod kutija primarne izolacije gdje se koristi debljina od 12mm. Težina takve kutije iznosi oko 50 kg. Kod izolacijske kutije se ostavljaju sitni prolazi da bi se omogućila bolja cirkulacija inertnog plina prilikom inertiranja izolacijskog sistema i uklonila opasnost od eventualne eksplozije ili požara ukoliko ispareni plin dođe u



kontakt sa zrakom te omogućilo funkcioniranje sistema za detekciju plina. Sposobnost brzog inertiranja ili otklanjanja isparenog prirodnog plina iz perlitom napunjenih kutija dokazana je kroz iskustvo za vrijeme službe broda. Izolacijske kutije punjene perlitom se ojačavaju smolom da bi izdržale opterećenje kojem su podvrgnute u sklopnoj strukturi oplata tanka.

### ***Sekundarna membrana***

Pružila potpunu pouzdanost i nepropusnost u slučaju procurenje viših slojeva izolacije (primarne membrane i izolacije), a poduprta je sekundarnom izolacijom. Dodatno osigurava strukturu trupa broda od pothlađivanja do granice kada postoji opasnost od pucanja strukture (granica je određena po IMO). Izrađena je od Invar čelika, a u slučaju propuštanja primarne membrane i izolacije, osigurava privremeno skladištenje tereta u vremenu 15 dana propisanom po IMO-u. Prijelazni strukturni element koji se nalazi na mjestu spoja dvaju elemenata membrane se naziva dihedron (uzdužni i kosi), dok se spoj poprečne pregrade sa pokrovom dna i oplatom boka tanka naziva trihedron.

### ***Primarna toplinska izolacija***

Služi kao toplinska izolacija i podupire primarnu membranu. Također je izrađena od kutija napravljenih od šperploče punjenih perlitom.

### ***Primarna membrana***

Kontinuirano se prostire duž zidova tanka i na svakom mjestu jednako je poduprta primarnom izolacijom. Osigurava trajno skladištenje tereta. Membrana je izrađena od INVAR traka, gdje se dvije trake membrane poklapaju s jednom širinom izolacijske kutije.

Budući je skladišni sistem LNG broda skup velikog broja komponenata, svaki mora biti proizveden i fiksiran s velikom preciznošću da bi tank bio pouzdan u službi.

Faze inspekcije moraju biti definirane u Priručniku za kvalitetu tako da bi se eventualni nedostaci mogli otkriti prije finaliziranja izrade tanka, jer jednom kada se brod nađe u službi, naknadna inspekcija izolacije i sekundarne pregrade nije moguća, osim kontrola korištenjem senzora za temperaturu i sistema za detekciju plina.

membr

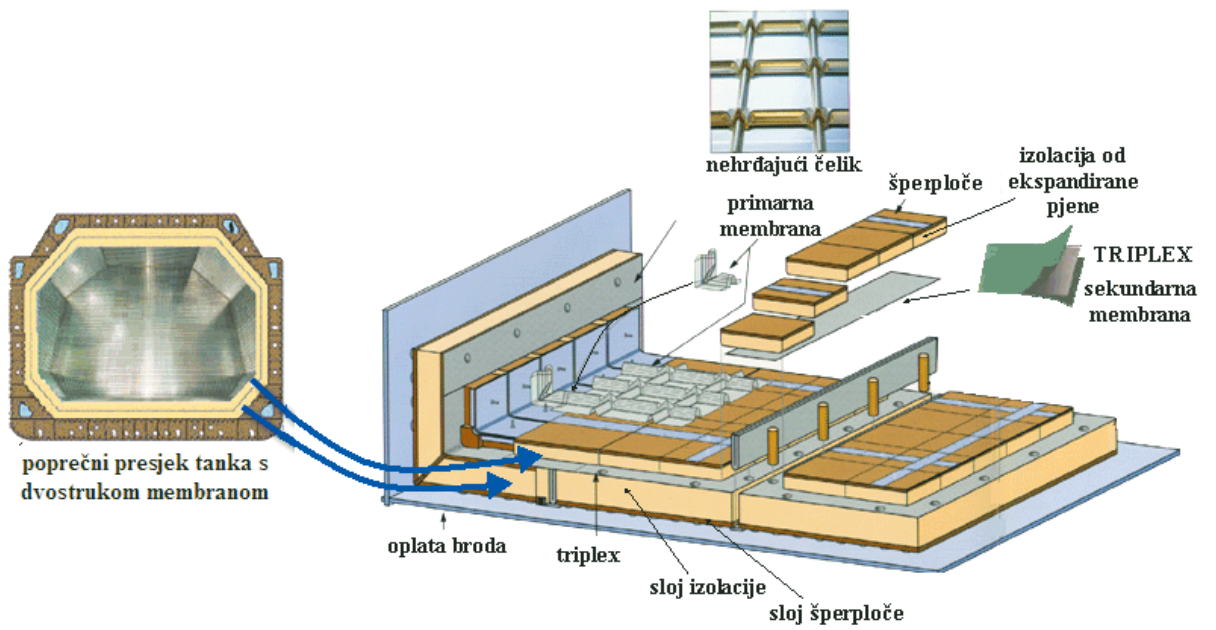
## 6. PODJELA MEMBRANSKIH TANKOVA

### 6.1. *Technygaz - TGZ Mark III*

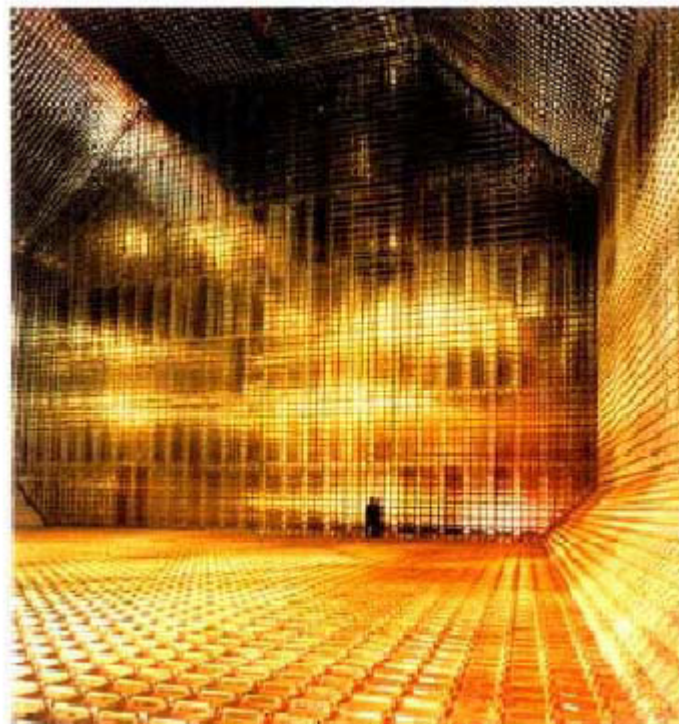
TGZ Mark III je Technygazov membranski tank. Primarna membrana je valovita rešetka od nehrđajućeg čelika debljine 1.2 mm. Zatim slijedi sloj šperploče ispod koje je izolacija od ekspanzirane pjene na koju se nastavlja sekundarna membrana poznata pod nazivom Triplex (dva sloja staklenih vlakana i sloj staniola u sredini). Ispod triplexa je još jedan sloj izolacije pa finalni sloj šperploče koji se naslanja na unutrašnju oplatu broda. Prostor između primarne i sekundarne membrane se zove međupregradni prostor i puni se dušikom pod niskim pritiskom. Prostor između sekundarne barijere i unutrašnje oplate broda se zove izolacijski prostor i također je punjen dušikom, ali pri većem pritisku.



Slika 22: Izolacijske kutije Technigaz Mark III membranskog tanka



Slika 23: Mark III Technygaz membranski tank



Slika 24: Unutrašnjost Technygaz membranskog tanka

Technigaz i Gaz Transport su se udružili da bi zajedni ostvarili kvalitetniji proizvod koji će objediniti najbolje karakteristike modela N°96 i Mark III, a naziva se GTT model. Ima dvostruku membranu i dvostruku izlaciju. Izolacija je preuzeta od modela Mark III i sastoji se od poliuretanskih ploča kojima se oblaže primarna i sekundarna membrana. Primarna membrana je izrađena kao i kod modela N°96 od invar čelika, dok je sekundarna membrana preuzeta od modela Mark III i izgrađena je od tzv. triplex sendviča. Kako joj i samo ime kaže, sastoji se od tri komponente, ljepila, aluminijske folije i staklene presvlake, a koristi se umjesto invar čelika za materijal sekundarne membrane zbog male težine.

## **6.2. Gaztransport**

Gaztransport sistem (NO 96) ima dva identična i nezavisna metalna membranska sloja. Primarna membrana je unutrašnja koja je u kontaktu s teretom, dok se vanjska naziva sekundarna membrana. Metalne membrane su napravljene od 36% Ni-čelik slitine sa izrazito niskim koeficijentom kontrakcije. Pogodan je za niske temperature kojima je izložen u doticaju s teretom. Spomenute membrane imaju ulogu dvostrukih barijera te štite trup od izlaganja ukapljenom plinu niske temperature. Izolacija, popunjena perlitom, je iznutra ojačana da izdrži visoke udarne pritiske i da absorbira energiju kretanja tekućine. U područje izolacije je dodan dušik i postavljeni detektori za trajno kontroliranje eventualnih oštećenja. Izolacija između trupa i membrane se ne može kontrolirati jer nema mjesta koje je dostupno. Tank se sastoji od primarne i sekundarne membrane čiji je materijal invar (čelik sa 36% Ni), koji je otporan na toplinsku dilataciju. Izolacija se sastoji od ploča šperploče popunjene laganim perlitom (ishodni materijal je taljiv, staklast, vulkanski pijesak s mnogo malih uklopljenih kapljica vode (perlit) koji nastaje djelovanjem vulkana u vlažnoj okolini (u moru ili pod ledom). Priroda se sama, vulkanskim djelovanjem brine o dugotrajnoj opskrbi (neiscrpiva "obnavljajuća" sirovina)



**u komadu**

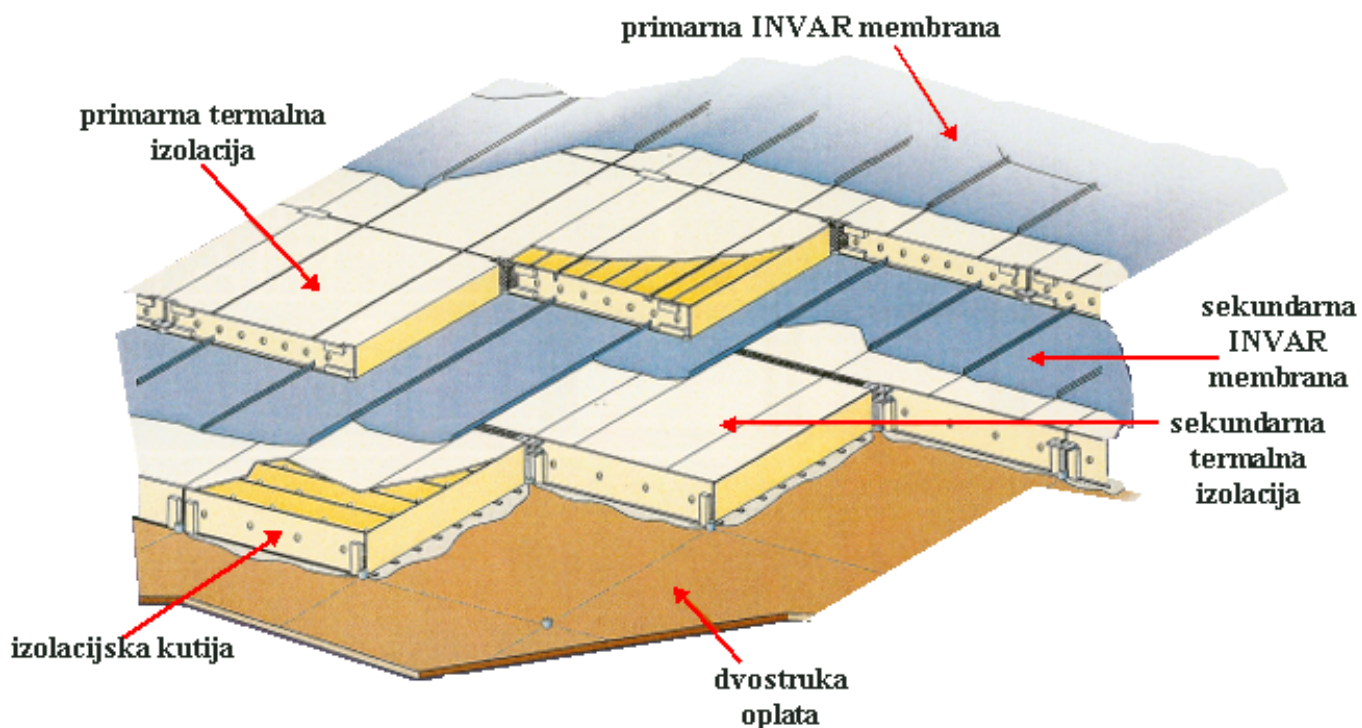
**usitnjeni**

**ekspandirani**

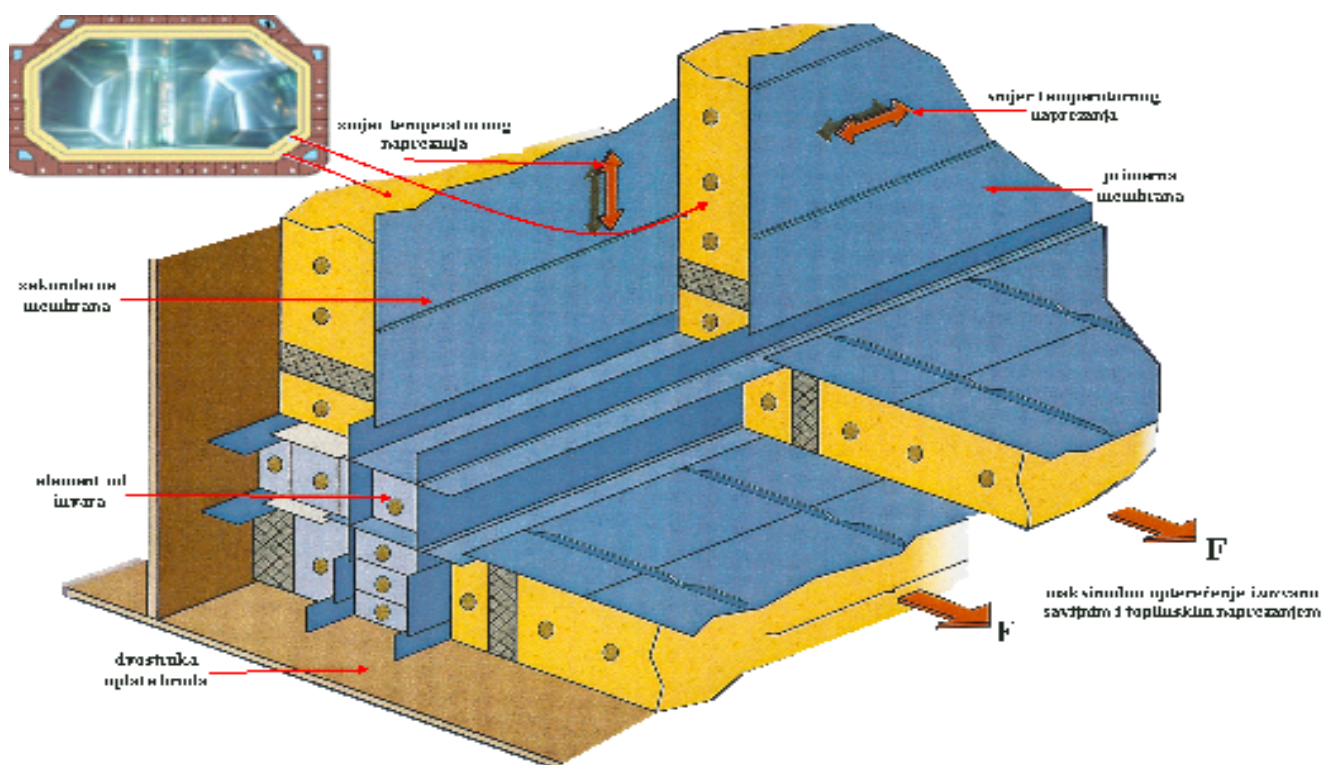
Slika 25: Perlit



Slika 26: Izolacijska kutija-Gaztransport No 96



Slika 27: Prikaz po slojevima Gaztransport No 96 membranskog tanka



Slika 28: Prikaz po slojevima kutnog dijela Gaztransport No 96 membranskog tanka

Gaz Transport, kao i većina membranskih tankova daje posebno rješenje dovoda pumpi i cijevi u tank. Umjesto da se direktno doda na membranu, radi se vertikalni toranj unutar okvira tanka od samog vrha do dna. Iako se ova vrsta tanka lako prilagodi obliku i veličini trupa broda, nedostatak mu je nemogućnost vizualne provjere izolacije i sekundarne barijere što povećava rizik od eventualnih neotkrivenih na vrijeme oštećenja.

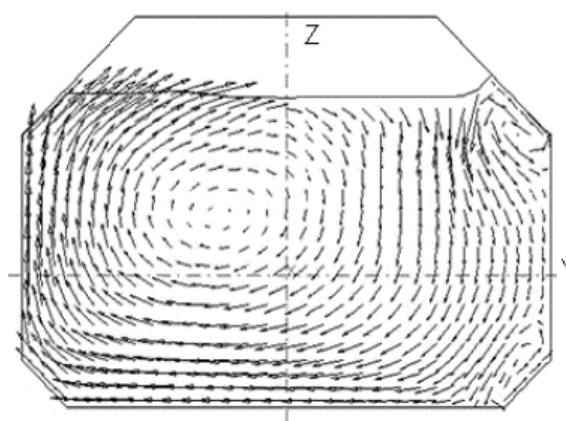
Membranski brodovi su također osjetljivi na sloshing koji se javlja kada se frekvencija broda poklopi s frekvencijom tereta, ukapljenog plina.



## 7. SLOSHING

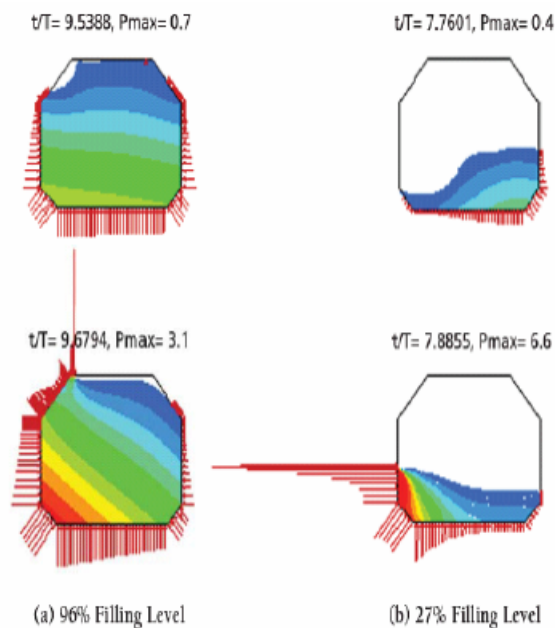
Iako je problem zapljuskivanja najizraženiji kod LNG brodova s membranskim tankom i prethodno spomenuta potreba za takvim brodovima daje poticaj njegovu rješavanju, on se može, uz ispunjenje određenih uvjeta, javiti kod bilo kojeg broda, ali i bilo kojeg drugog prijevoznog sredstva ili objekta u čijim tankovima se nalazi tekućina (nužan uvjet pojave je postojanje slobodne površine). Ta činjenica ukazuje na neprijepornu potrebu za daljnjim izučavanjem fenomena zapljuskivanja i njegovih učinaka, u cilju zadovoljenja ponekad izrazito suprotstavljenih zahtjeva u vidu sigurnosti brodske konstrukcije u neizvjesnom okolišu s jedne, i minimalnih troškova njene gradnje i eksploatacije, s druge strane. Gledajući pojednostavljeno, cijeli sustav analize zapljuskivanja i njegovih učinaka temelji se na procjeni gibanja broda na valovima, koje je u dinamičkoj interakciji s gibanjem tekućine u tanku (gibanje tekućine može biti više ili manje nasilno, s različitim tipovima udara i različitim profilima opterećenja), te napretnošenju opterećenja na strukturu koje se može izvršiti direktno ili ga je moguće promatrati u hidroelastičnoj interakciji. Važno je istaknuti da je zapljuskivanje eklatantan primjer izrazito nelinearnog i slučajnog rezonantnog fenomena, na koji utječu mnogi parametri, i može se pojaviti u različitim oblicima, ovisno o geometriji tanka, količini tekućine u tanku, dominantnom smjeru uzbude, amplitudi gibanja broda itd. Imajući u vidu na početku spomenute poteškoće u opisu gibanja broda na valovima i općenito poznatu činjenicu o poteškoćama u opisu strujanja fluida i za jednostavnije slučajeve (gibanje tekućine u ovom slučaju iznimno je složeno), te problematiku matematičkog modeliranja odziva impulsno opterećenih struktura, jasno je da se opis zapljuskivanja kao kombinacija svega toga zajedno, vrlo teško može poopćiti. Suvremeni pristup bavljenju ovom problematikom zahtijeva kombiniranje eksperimentalnih istraživanja i teorijskih promišljanja, te korištenje razmjerno opsežnog znanja (hidrodinamika, čvrstoća, materijali, eksperimentalne tehnike, instrumentacija u naravi itd.), kako bi se mogli najprije razviti, a zatim i riješiti prihvatljivi matematički modeli. Analiza gibanja tekućine u tanku provodi se kako bi se odredila opterećenja uslijed zapljuskivanja kao i njihova distribucija na strukturnim elementima tanka, odnosno kako bi se provjerilo ponašanje strukture pod

takvim opterećenjima. U spomenutoj analizi potrebno je krenuti od predviđanja gibanja broda na valovima, što je moguće učiniti koristeći neki od mnoštva razvijenih hidrodinamičkih programskih alata ili pomoću ispitivanja na modelima u bazenu. Važno je reći da se kod zapljuskivanja kao rezonantnog fenomena najnepovoljnija stanja ne moraju pojaviti za maksimalne odzive broda [3]. To ukazuje da se vanjska valna opterećenja u većini slučajeva praktično mogu opisivati linearnim teorijama. Svejedno, nelinearnosti se moraju uzeti u obzir kod razmatranja gibanja tekućine. Općenito, ponašanje tekućine razmatra se eksperimentalno u prikladnim laboratorijima, te korištenjem pogodnih CFD ili nekih drugih programskih alata. Postoji mnoštvo oblika tankova (pravokutni, prizmatični, sferni, konični, horizontalni cilindrični i sl.) kao i mnoštvo vrsta tekućina koje se u tim tankovima prevoze (nafta, ukapljeni plin, voda i sl.) kod kojih se može pojaviti zapljuskivanje, ali potrebno je istaknuti da je načelno njegov utjecaj manji što je više strukture u tanku koja ometa slobodni tok fluida. U tanku koji je gladak, i bez spomenute unutarnje strukture, viskozno prigušenje fluida je vrlo maleno (valja napomenuti da se općenito, prigušenje povećava sa smanjenjem visine punjenja), pa je potrebnorazmjerno dugo vrijeme dok se fluid smiri. Oblik tanka, razina punjenja i značajke gibanja tanka (primjerice amplituda ili frekvencija), čine osnovne parametre koji određuju prirodu gibanja slobodne površine.



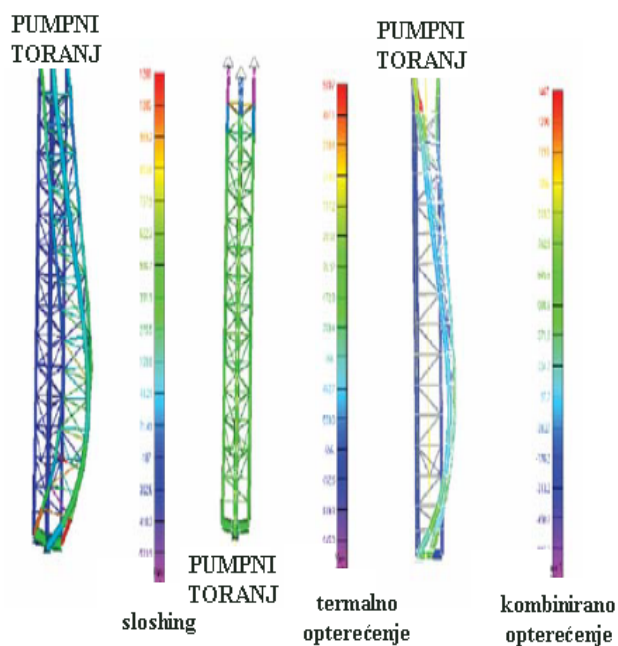
Slika 29: Pumpni toranj unutar LNG tanka i polje brzina na mjestu tornja

LNG tankeri uglavnom putuju potpuno nakrcani teretom, punoća tankova je preko 95 % ili u balastu sa punoćom tankova jednakom ili manjom od 10 %.



Slika 30: Opterećenje tankova u ovisnosti o njihovoj punoći

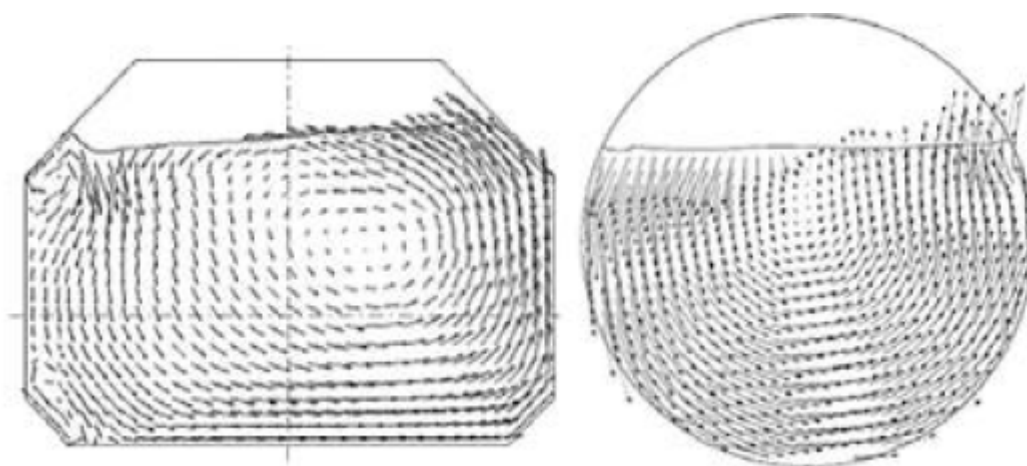
U prijašnjem dizajnu membranskih tankova prilikom vožnje s punim tankovima su se javljali veliki problemi zbog deformacije izolacijskog sloja uslijed djelovanja tereta na membranu. Kao rješenje se uvode neke preinake- visina gornjeg dijela je povećana, a izolacijski sloj na vrhu tanka podebljan dovoljno da izdrži opterećenja koja se javljaju kod punog tanka uslijed efekta sloshinga.



Slika 31: Opterećenje pumpnog tornja

Promjene na LNG tržištu nameću i promjene u dizajnu tankova i brodova koji ih prevoze. Brodovlasnici nameću imperativ u omogućavanju plovidbe i s djelomično popunjenim tankovima bez opasnosti od štete i oštećenja nastalih zbog sloshinga.

Ono što daje značajnu prednost sfernog tipa tanka u odnosu na membranski je veća fleksibilnost za različita stanja krcanja. Zbog svog oblika smanjuju utjecaj slobodne površine tereta, zbog čega se javljaju niža naprezanja za različitu razinu krcanja tanka, u odnosu na membranski tip.

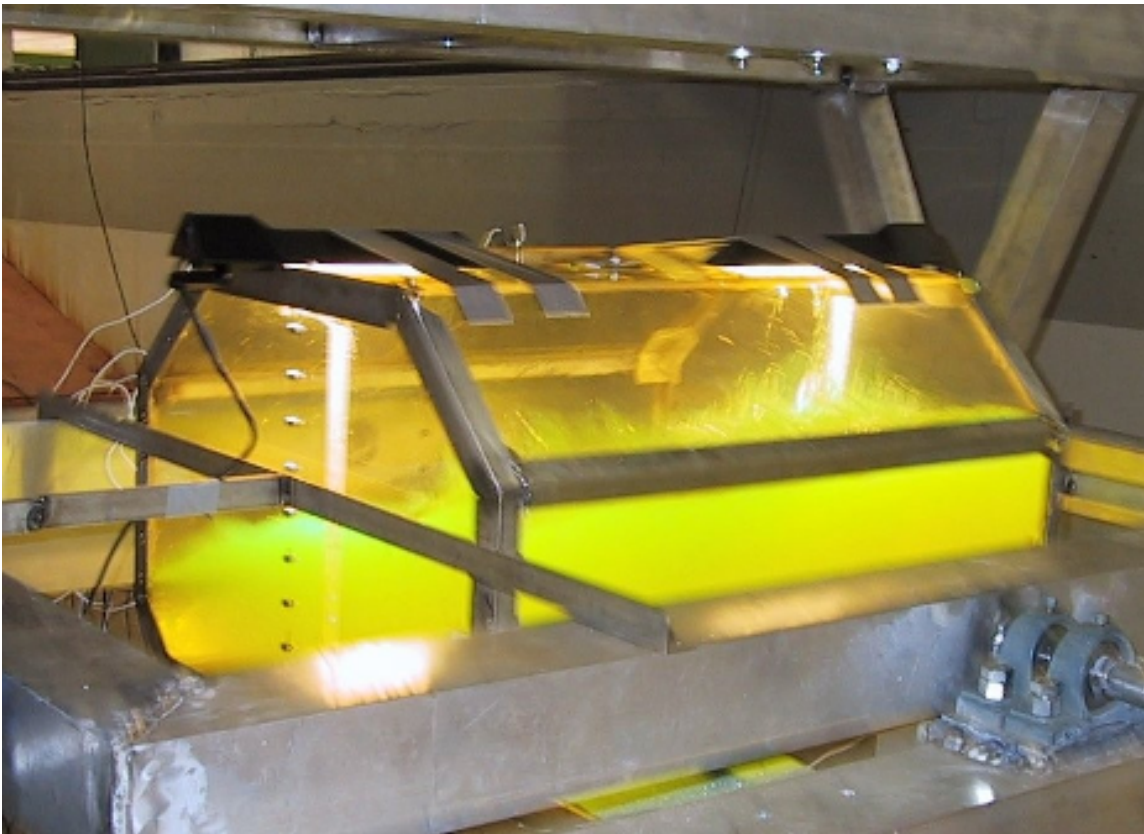


Slika 32: Polje brzina u membranskom i sfernom tanku

### ***7.1. Modelska ispitivanja u mjerilu***

Ekstrapolacija rezultata koji bi se dobili mjerenjem tlakova uslijed udara fluida u tankovima, koji su izrađeni u smanjenom mjerilu u odnosu na referentni tank, prilično je delikatna. Ona je ovisna o mnoštvu fizikalnih parametara fluida i stjenke, sudionika u dinamičkoj interakciji, kao što su primjerice: gustoća, viskoznost, napetost površine, stlačivost fluida itd. Današnja praksa pri provođenju eksperimentalnih istraživanja u ovoj domeni obično je zadovoljavanje sličnosti prema Froudeu. Takav način daje prihvatljive rezultate kada je riječ o predviđanju valnih opterećenja brodova i pučinskih objekata koji su izloženi dinamičkom opterećenju čije

je trajanje razmjeno dugo i čija maksimalna vrijednost nije pretjerano velika (viskoznost, stlačivost i napetost površine u ovom slučaju nemaju dominantan utjecaj). Ovakav pristup, koji je dovoljno dobar kada se radi primjerice o interakciji vode i čelične stjenke, za ukapljeni plin ne bi bio pogodan, imajući u vidu i znatno složeniju strukturu tanka (elastične membrane sa raznim vrstama izolacije, Slika 5.2.), ali i kompleksne fenomene na slobodnoj površini (lomljenje valova i fazne pretvorbe između tekućeg i plinovitog agregatnog stanja). Sličnost prema Froudeu pogodno je zadovoljavati ukoliko se želi dobiti uvid u prosječna globalna opterećenja uslijed zapljuskivanja, dok s interpretacijom lokalnog tlaka prouzrokovanog udarom treba biti izuzetno oprezan.



Slika 33: Model tanka za ispitivanje sloshinga

Pri provođenju ispitivanja geometrija tanka iznutra se mora što vjerodostojnije modelirati. Ako je površina referentnog tanka korugirana (primjerice Mark III sistem kod tankova za ukapljeni plin), korugacija se može zanemariti. Model tanka i podupirući sustav moraju biti dovoljno robusni da se anuliraju strukturne vibracije i gibanja tanka uzrokovana zapljuskivanjem. Preporučljivo je da generator gibanja može

generirati gibanje u svih 6 stupnjeva slobode, jer je u protivnom često potrebno eksperimentalno dokazivati da zanemarivanje pojedinih stupnjeva slobode nema bitan utjecaj na tlakove od zapljuskivanja. Senzori tlaka moraju se smjestiti u područja gdje se javljaju kritični udari. Tipična područja javljanja kritičnih udara za visoka punjenja su kutovi i krajevi na vrhu tanka, a za niska punjenja stjenke tanka u blizini slobodne površine i malo iznad slobodne površine. Trajanje modelskih testova mora biti dovoljno dugo da se izmjeri dovoljan broj udarnih tlakova za statističku analizu (često je potrebno trajanje mjerenja više od 5 sati za svaki oblik gibanja tanka). Kada se odrede kritični slučajevi po pitanju razina punjenja i dominantnih smjerova uzbude za te razine, često je potrebno takve testove ponavljati da se dobije što više uzoraka, kako bi statistička analiza bila što vjerodostojnija.

Na LNG brodu (148000 m<sup>3</sup>) koji će biti isporučen sljedeće godine u brodogradilistu Daewoo ugradit će se senzori u tank broj 2 za prvo praćenje sloshing forces (sila u tanku s teretom koje se pojavljuju uslijed valjanja) kod LNG brodova s membranskim tankovima.

## 8. Q-FLEX i Q-MAX LNG TANKERI

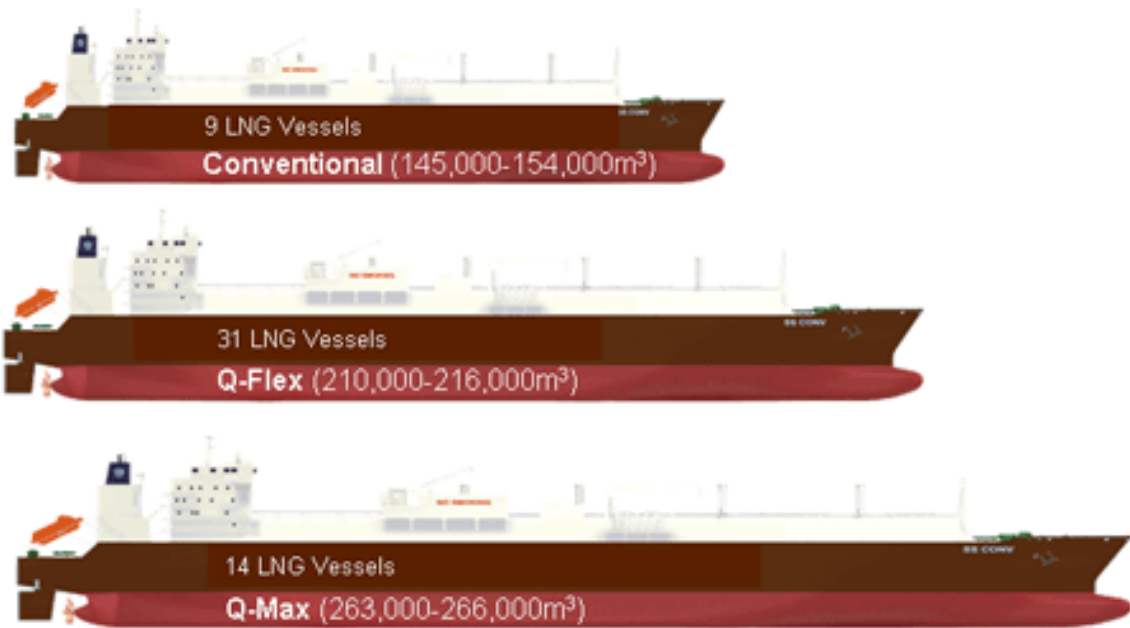
### *8.1. Karakteristike Q-flex i Q-max tankera i njihova zastupljenost*

Q-flex i Q-max su nova generacija LNG brodova nastalih u svrhu izvoza plina iz Qatara, zemlje naručitelja. Imaju nešto manji gaz jer su predviđeni za prolaz Sueskim kanalom kojim bogu ploviti brodovi gaza do 18.9 m. Put oko Rta Dobre Nade je za 100 % duži za prosječnu LNG destinaciju. Znatno su veći od konvencionalnih LNG tankera u trenutnoj svjetskoj floti. Dizajnirani su za kapacitet tankova tereta od 210 000 do 216 000 m<sup>3</sup> i duljine do 315 m, što je jedan i pol puta veća korisna nosivost. Svaki Q-flex nosi dovoljno plina za opskrbu svih sjevernokorejskih domaćinstava čitava dva dana. Standardni LNG brod je dug manje od 300 m i kapaciteta 122 000 m<sup>3</sup>. Povećana korisna nosivost q-flex brodova rezultira manjim troškovima prijevoza po jedinici ukapljenog plina jer prevezu znatno više tereta po putovanju. Novih Q-flex

Dosadašnje dimenzije Q-flex tankera su im omogućavale pristup u 2/3 svjetskih LNG terminala.

Q-max LNG tankeri su dizajnirani za prijevoz tereta od 263 000 do 266 000 m<sup>3</sup> i dužina im je 345 metara, kapaciteta gotovo 2 puta većeg od dosadašnjih LNG tankera. Q-max brodovi će biti najveći brodovi za prijevoz ukapljenog plina na svijetu s osnovnim dimenzijama nešto manjim od najvećeg broda za prijevoz sirove nafte.

Q-max također kao i Q-flex ima manje troškove transporta po putovanju kada se uspoređuje s konvencionalnim LNG brodom. Iako ga neke luke ne mogu primiti zbog njegovih dimenzija, približno pola svjetskih LNG terminala može, sa ili bez manjih modifikacija.



Slika 34: Usporedba-konvencionalni LNG tanker, Q-flex i Q-max

Daewoo Shipbuilding predviđa naručivanje 40 LNG brodova u svijetu svake godine do 2015. Promet LNG morem porasti će s 150 mil. t u 2002. na 360 mil. t u 2015.

Predviđa se da će sljedeće dvije godine biti visak LNG brodova (kapaciteta). Očekuje se rast kapaciteta LNG brodova od 15 % godišnje, a potrebe za prijevozom plina morem rasti će samo 6 % godišnje. To bi značilo da će mnogi LNG brodovi u tom periodu biti prisiljeni poslovati na spot tržištu, koje je podosta nesigurno i slabo plaćeno, pa će radije brodovi biti na sidru. Kapacitet LNG brodova krajem 2006. iznosio je 28.3 mil. m<sup>3</sup>, a 2010. očekuje se kapacitet od 50 mil. m<sup>3</sup>, kad će morem ploviti oko 360 LNG brodova. Trenutno u svijetu (prosinac 2007.) plovi oko 246 LNG brodova. U 2008. očekuje se 60 novih, a 2009. 45 novih. Mnoge isporuke kasne jer brodogradilišta ne mogu poslužiti sve. U prvih pet godina ovog desetljeća veličina LNG broda kretala se u rasponu od 120000 m<sup>3</sup> do 140000 m<sup>3</sup>, ove godine više od 150000 m<sup>3</sup>, a najveći LNG brod u narudžbi je veličine 265000 m<sup>3</sup>. Ukupna Nakilat flota imat će 31 Q-Flex (215000 m<sup>3</sup>) i 14 Q-Max (265000 m<sup>3</sup>) brodova.

Novih Q-flex brodova je naručeno 129 i trebali bi svi biti isporučeni do 2011.

60 bi ih trebalo biti isporučeno do kraja 2008.godine,40 2009.godine,a 16 2010.godine.



Prva dva Q-flex broda qatarskog naručitelja, Al Saflija i Al Ruwais su isporučeni 2007. godine, a od tada je ukupno naručeno čak 129 LNG tankera nove generacije.

Spomenute brodove je izgradilo korejsko Daewoo Shipbuilding brodogradilište sa zajedničkim ulaganjem grupacije Qatar Gas Transport Co, Pronav i Commerzleasing 31 listopada 2007. Druga dva broda nazvana Tembek i Al Qattara su nastala u Samsung Heavy Industries, a predana su naručitelju QGTC i Overseas Shipholding Group u studenom iste godine. Četiri spomenuta tankera su kapaciteta od 210 100 i 216 200 m<sup>3</sup>.

Ovi brodovi, zajedno sa još četiri Q-flex-a koji će zaploviti u 2008. godini su izgrađena sa zadaćom transporta ukapljenog plina iz Qatara u U.K. Međutim, terminal koji je bio predviđen za prihvata ukapljenog plina sa Q-flex tankera iz Qatara, South Hook LNG terminal u Milford Haven, je kasnio s izgradnjom i samim tim je cijeli projekt bio na čekanju. Izgrađeni tankeri su se našli na spot marketu, iako su brodovlasnici htjeli što prije demonstrirati njihov potencijal i rastjerati sumnje u potencijalne tehničke probleme. Naravno, u Dohi su bili protiv stavljanja brodova na mrtvi vez.

U Qataru su od početka znali da će veličina ovih brodova ograničiti njihovu trgovačku fleksibilnost. Nisu tome pridavali preveliku važnost jer su ovi brodovi bili dio grupe mega brodova koji su se trebali pojaviti u svjetskim morima. Međutim, prvi dovršeni i isporučeni Q-flex tankeri su ipak zatekli neke luke i terminale nespremne za prihvata ovako velikih plovila.

Korejski Kogas tako nadograđuje i unaprijeđuje svoje terminale za mogućnost prihvata Q-flex tankera, uz početnu ideju kako će se prvih nekoliko brodova koristiti kao plutajuće skladište što bi trebalo kompenzirati zatvaranje četiriju skladišta u Incheonu volumena 200 000 m<sup>3</sup>.

U Americi, u Meksičkom zaljevu se u 2008. otvaraju dva terminala i moći će primiti čak i Q-max brodove. Sempra Energia Costa Azul, novi terminal u Mexicu je također Q-flex kompatibilan. Kompetabilni terminali u Europi su to belgijski Zeebrugge, španjolski Bilbao i Fos Cavaou u južnoj Francuskoj.

Q-Max kvaliteta znaci: membranski tankovi, dva stroja i dvije osovine i dva kormila, sporohodni diesel strojevi manje potrošnje i 30% manjeg zagađivanja zraka u odnosu na klasične LNG brodove, reliquefaction postrojenje za vraćanje boil-off plina natrag u

tankove, moćni generatori za sve uvjete rada, protupožarni sustav (Hi-Ex foam, Hi-Fog water, itd.) koji ne koristi CO<sub>2</sub>, itd.



Slika 35: Karta svijeta sa označenim Qatarom kao izvoznikom

## 8.2. Sueski kanal

Je umjetni prokop dug 163 kilometara između Sredozemnog i Crvenog mora, koji razdvaja afrički od azijskog kontinenta te je najbliža pomorska veza između zapadne i istočne Zemljine hemisfere. Golema strateška važnost Sueskog kanala za Zapad postaje još jasnija u svjetlu činjenice da je najvažniji tankerski plovni put za opskrbu Europe bliskoistočnom naftom. Kanal je dobio ime po egipatskom gradu Suez.

Gradnjom kanala regija je bitno izmjenjen i postao je jedno od najvažnijih gospodarskih područja Egipta. Na sjevernome ulazu je grad Port Said, a najveći je Ismailia, prometno čvorište prema Kairu. Na južnom ulazu u kanal je grad Suez.



Slika 36: Satelitska slika Sueskog kanala



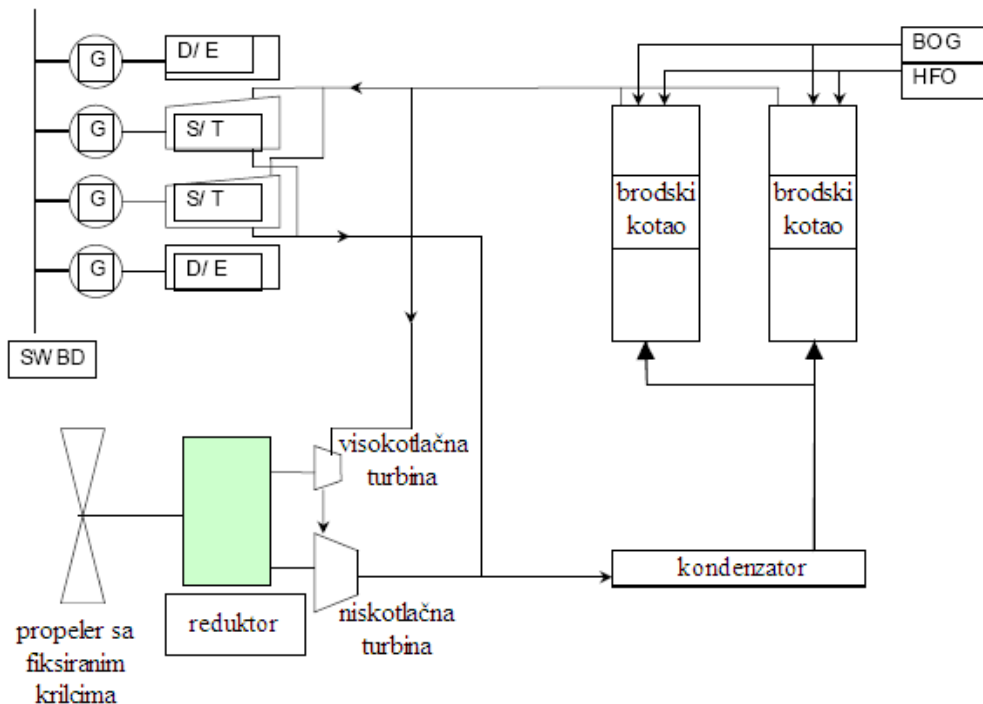
Slika 37: Brodovi u prolazu kroz Suez

## 9. PROPULZIJA

- Parna turbina
- Dual fuel diesel electric
- Sporohodni Diesel motori sa sustavom za replinifikaciju
- Gas turbina (moguća budućnost)

### 9.1. Parna turbina

- Koristi za izgaranje kombinaciju BOG (2/3) i HFO (1/3)
- Niska i skoristivost goriva - 27%
- Visoka potrošnja - 180 t/danu (za brod od 150000m<sup>3</sup> iskoristivosti)
- Gorivo zagrijava vodu do vrenja ,para pokreće parne turbine koje su preko reduktora povezane s brodski propelerom
- Plin ima veliku ogrijevnu moć,manje ostataka izgaranje a od ostalih goriva,veći stupanj iskosištenosti kotla,zbog boljeg iskorištenja ložišta.
- Sustav se odlikuje sigurnošću,izgaranje plina je povoljno za okoliš,lako održavanje i velika pouzdanost parne tubine
- Zbog velike potrošnje goriva se ovaj tip propulzije nakon naftne krize 1970. zadržava samo na samo na LNG brodovima
- Kawasaki i Mitsubishi su jedini proizvođači parnih turbina u svijetu i oni proizvedu samo 24 turbine godišnje,što nije dovoljno za današnju ekspanziju u proizvodnji LNG brodova
- visoka cijena nafte i samog isparenog plina koji se koristi
- mala ušteda pri sporoj vožnji
- operativna cijena sustava s parnom turbinom je 13500 \$/dan
- Nagla ekspanzija gradnje i primjene LNG brodova je dovela do pomanjkanja stručnog kadra kvalificiranih za rad na brodovima s parnim postrojenjima

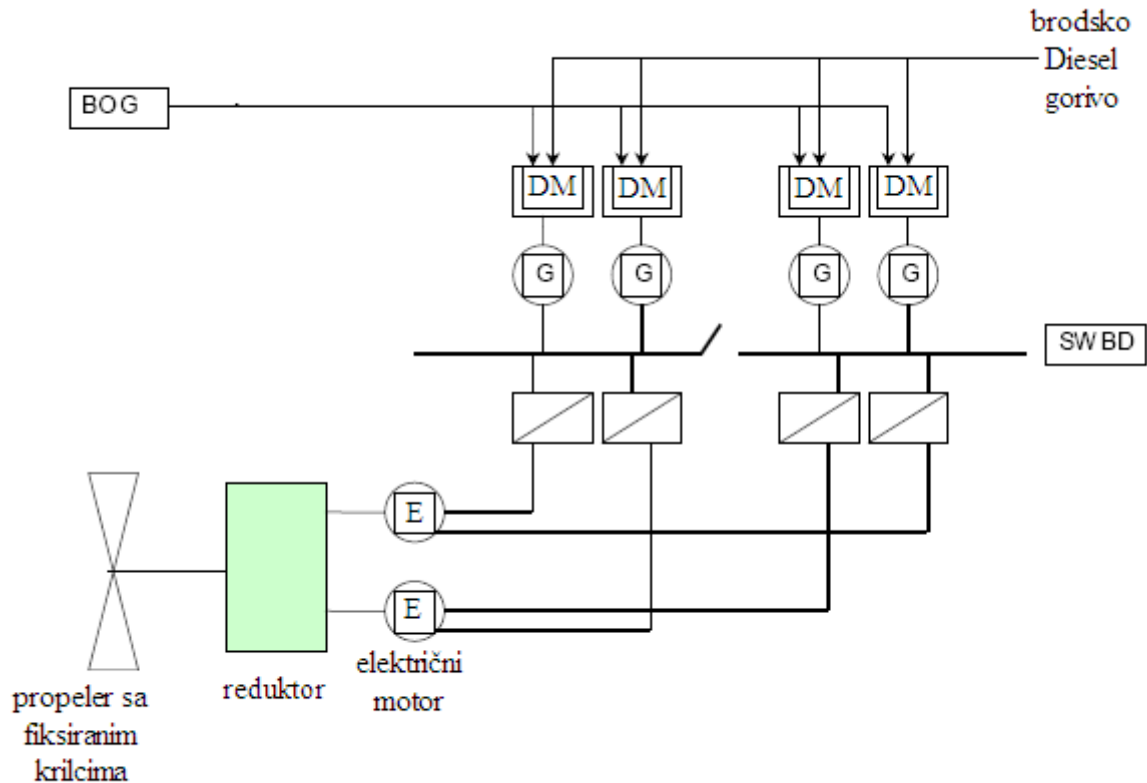


Slika 38: Shema postrojenja LNG broda s parnom turbinom

## 9.2. Diesel električni motor na dvojno gorivo

- Diesel motor može izgarati Diesel gorivo ili ispareni plin kao pomoćno gorivo. Motor je spojen na električni generator koji napaja električni motor koji okreće propeler
- Motori rade na 100 % brodsko Diesel gorivo ili na HFO
- visoka iskoristivost goriva- 43 %
- potrošnja broskog Diesel goriva za brod od 150000 m<sup>3</sup> iskoristivosti je 125 t po danu ( 130 t za propulziju, 32 t za ukapljivanje isparenog plina te 8 t za brodske potrebe)
- pouzdanost korištenjem više radnih jedinica te se kvarom jedne ne dolazi do kolapsa u pogonu broda
- motori su lako operabilni te mogu biti isključeni pri usporavanju i malim brzinama
- provjerna tehnologija instalirana na mnogim novim brodovima

- Ne zahtjeva se posebno obučena posada za rad na ovom tipu stroja
- operativni troškovi su 15500 \$/danu
- relativno mala strojarnica pruža uštedu prostora u korist tereta od 5000 m<sup>3</sup>

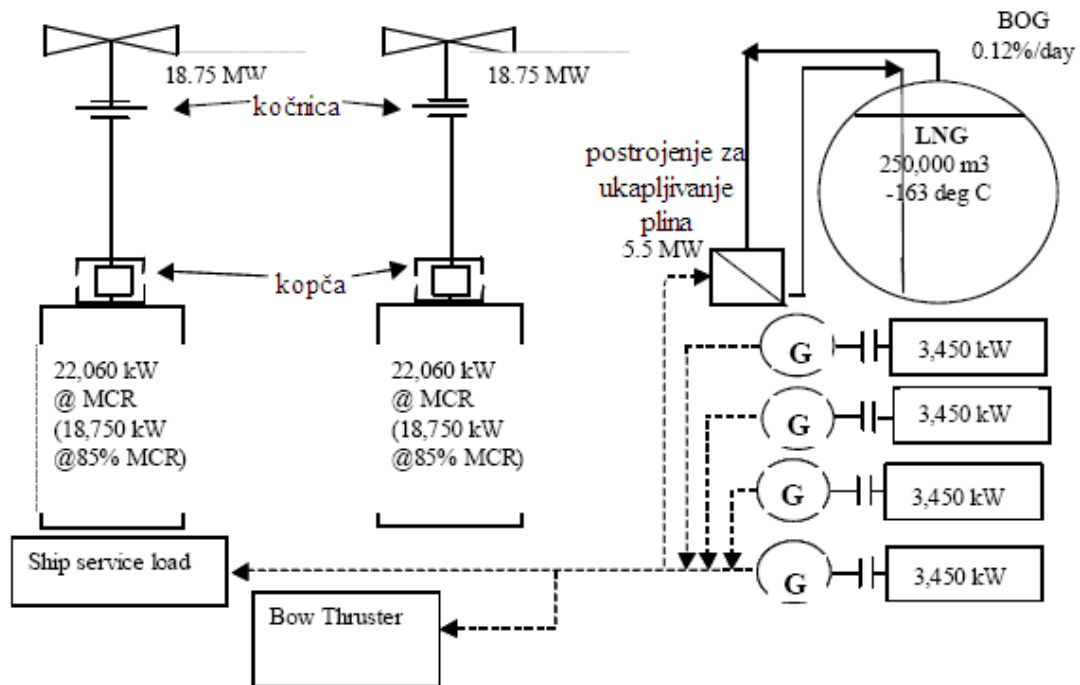


Slika 39: Shema postrojenja LNG broda s Diesel motorima na dvojno gorivo s električnim motorima koji okreću propeler

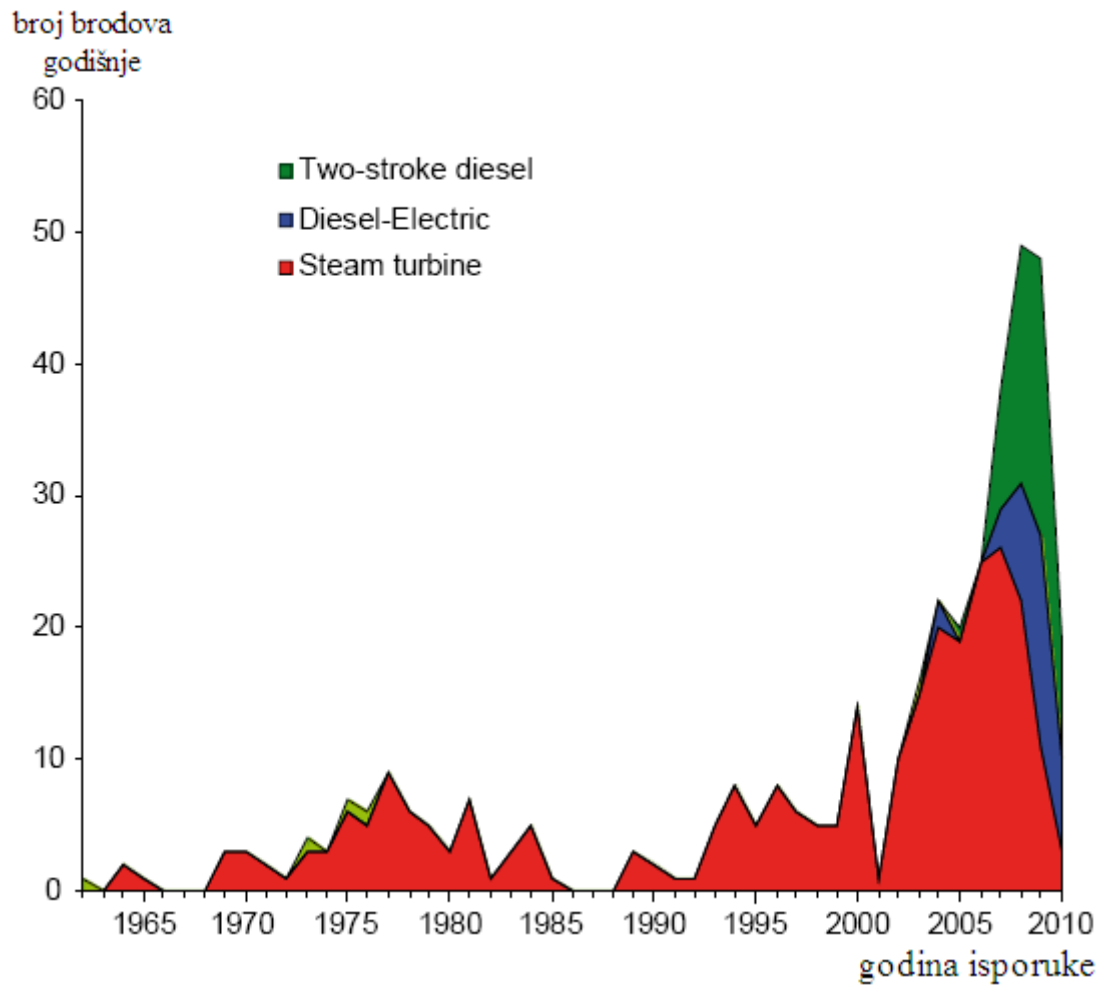
### 9.3. Sporohodni Diesel motor sa sustavom za ukapljivanje isparenog plina

- Diesel motori koji za izgaranje koriste HFO su spojeni direktno na propeler
- Motori ne mogu izgarati ispareni plin pa je imperativ u prisutnosti sustava za ukapljivanje plina na brodu
- visoka iskoristivost goriva- 43 %
- potrošnja broskog Diesel goriva za brod od 150000 m<sup>3</sup> iskoristivosti je 125 t po danu ( 130 t za propulziju,32 t za ukapljivanje isparenog plina te 8 t za brodske potrebe)

- ušteda pri malim brzinama jer je motor jednako učinkovit u svim režimima rada
- provjerena tehnologija prisutna na preko 90 % trgovačkih brodova
- postrojenje za ukapljivanje na brodu nije još dokazana tehnologija jer je još relativno novo i očekuju se rezultati
- Novi LNG brodovi, Q-flex i Q-max su svi konstruirani sa sustavom ukapljivanja na brodu
- za rad na ovom tipu stroja se ne zahtjeva posebno obučavana posada, problem je što nema kvalificiranih ljudi za rad na sustavu za ukapljivanje
- operativni troškovi su 14500 \$/danu
- Za nove O-flex LNG brodove ovaj princip donosi uštedu od čak 5 milijuna \$ godišnje
- Prvi brod sa spomenutim sustavom je Q flex LNG "Abu Dabi", do sada ih je 8 u radu i 37 u narudžbi ili izgradnji.



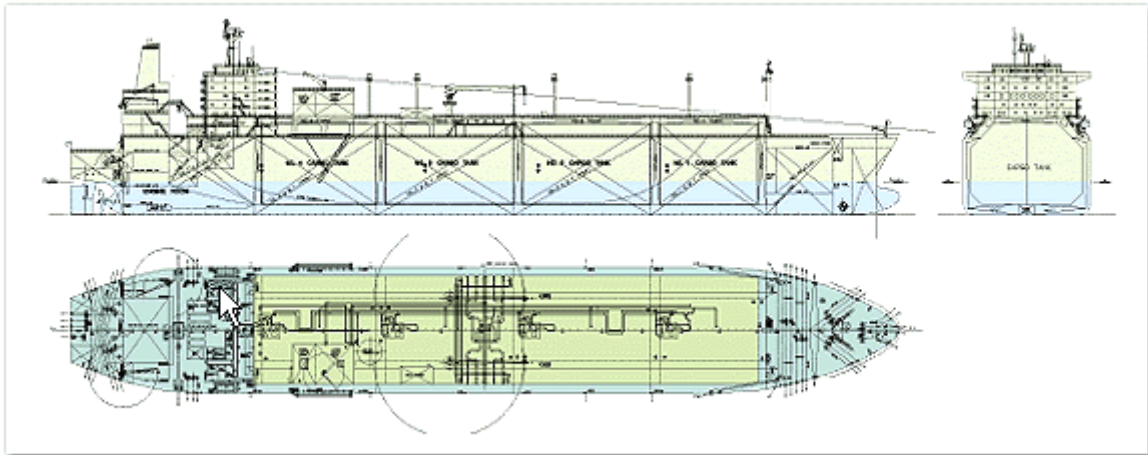
Slika 40: Shema postrojenja LNG broda s Diesel motorima i sustavom za ponovno ukapljivanje plina



Slika 41: Trend porasta instaliranja sporhodnih Diesel motora na LNG tankerima



## 10. PODACI O RAZMATRANOM PROTOTIPU SA STANDARDNIM OBLIKOM MEMBRANSKOG TANKA



Slika 42: Tipičan raspored tankova kod LNG tankera s membranskim tankovima

### 10.1. Podaci o brodu:

Glavni parametri broda:

Duljina preko svega	Loa=290.00 m
Duljina između okomica	Lpp=279.50 m
Širina (moulded)	B=44.00 m
Visina do glavne palube	H=26.35 m
Gaz (ballast)	T=9.8 m
Gaz (design)	T=11.6 m
Koeficijent istisnine	Cb=0.758
Brzina na projektnom gasu	v=19.5 kn

## ***10.2. Podaci o teretnim tankovima***

### **TANK 1**

volumen (100%)	$V = 25947 \text{ m}^3$
duljina	$L = 38 \text{ m}$
odnos	$l/L_{pp} = 13\%$

### **TANK 2,3 i 4**

volumen (100%)	$V = 43969 \text{ m}^3$
duljina	$L = 50 \text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 17\%$

Razmak između rebara

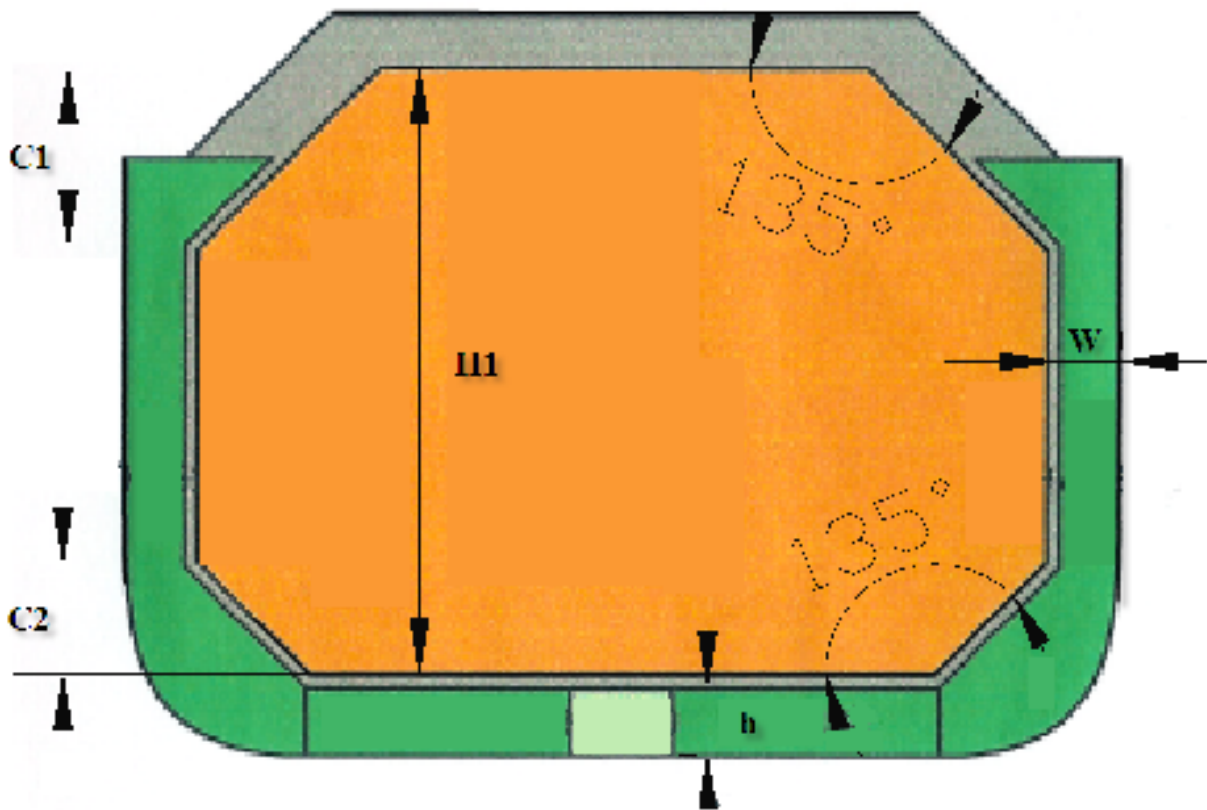
teretnog prostora  $e = 0.955 \text{ m}$

Debljina izolacije  $d = 0.545 \text{ m}$

Tip izolacije No96

## ***10.3. Materijal spremnika i geometrijska ograničenja***

Geometrijska ograničenja visine i širine dvodna i dvostruke oplata unutrašnjeg trupa određena su IGC Code-om, a ostalo ovisi o kapacitetu tanka. Između dva susjedna teretna tanka nalazi se po jedan tkz. koferdam, tj. pregrada koja kompenzira dilatacije strukture tanka koje nastaju zbog toplinskog stezanja materijala oplata tanka u kontaktu s niskom temperaturom transporta ukapljenog plina. Kut nagiba gornje i donje kosine tanka na mjestu wing i hopper tanka su uvjetovana zapljuskivanjem tereta, a kosine su pod kute od  $135^\circ$ .



Slika 43: Geometrijska ograničenja tanka s rasporedom dvostruke oplata i dvodna

Veza između parametara:

$$C1 \geq 0.3 \cdot H1$$

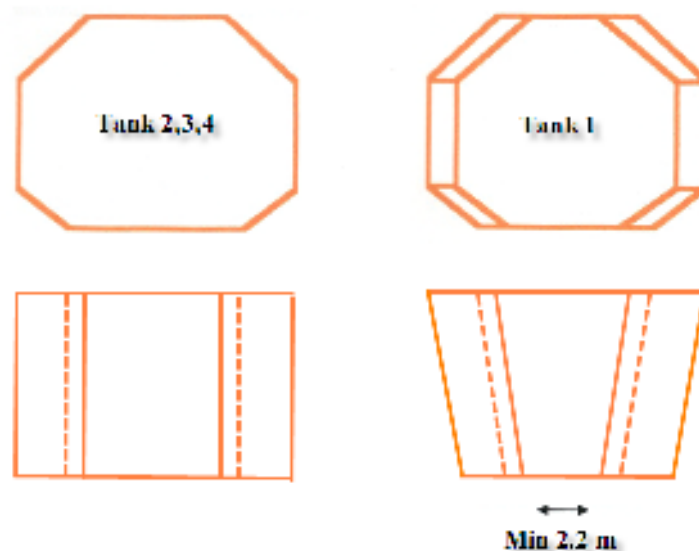
$$C2 \geq 2.5 \text{ m}$$

Visina  $h$  i širina oplata  $w$  su određene IGC Codeom:

$$W \geq 750 \text{ mm}$$

$$h = 2 \text{ m ili } B/15$$

Oblik tanka ovisi o njegovom smještaju u trupu po duljini broda, a poprečni presjek i tlocrt tankova za konvencionalni membranski LNG tanker izgledaju kao na slici 43.



Slika 44: Poprečni presjek i tlocrt tankova

Iz slike 44 se da primjetiti da je širina prvog pramčanog tanka, tj. tanka 1, pri samom početku nešto uža od širine ostalih tankova. Ta širina po zahtjevima IGC Codea ne smije biti manja od 2.2 m.

Tank br.1 je nešto uža i kraći od preostalih teretnih tankova jer takav oblik diktira forma trupa. Između svakog teretnog tanka se nalazi koferdam, odjeljak koji kompenzira toplinske dilatacije oplata tanka koje nastaju zbog njenog kontakta s niskom temperaturom ukapljenog plina.

Strojarnica je smještena na krmi, iza zadnjeg teretnog tanka. Isto tako i komandni most s kojeg je osigurana dobra vidljivost u svim smjerovima zbog niske nadpalubne strukture teretnih tankova, što nije slučaj kod LNG brodovima sa sfernim konceptom tankova. Paluba štiti gornji dio strukture teretnih tankova i sprječava prodor topline izvana u unutrašnjost teretnog prostora i prekomjerno isparavanje plina.

Na strukturi palube se nalazi palubna kućica za smještaj postrojenja za ponovno ukapljivanje isparenog plina ili za smještaj postrojenja za odvođenje isparenog plina do plinske pogonske turbine, ako se u trenutku gradnje broda uopće smatralo isplativim ugraditi ih na brod. Na strukturu palube se postavljaju cjevovodi za opsluživanje teretnih tankova, odnosno za ukrcaj i iskrcaj tereta iz tankova.

## 11. NOVI OBLICI TANKOVA ZA UKAPLJENI PLIN

### *11.1. Opis zadatka*

Potrebno je razraditi novi oblik tankova brodova za prijevoz ukapljenog prirodnog plina. Od novog oblika tanka se očekuje da zadrži prednosti tankova konvencionalnog oblika, a da zbog svog zaobljenog gornjeg dijela minimalizira pojavu sloshinga.

Tankovi su dizajnirani u programu Rhinoceros. Detaljan opis geometrije, kao i dimenzije pojedinog tipa tanka se nalazi u daljnjim točkama ovog diplomskog rada.

U programu GHS je dizajniran razmatrani prototip sa konvencionalnim oblikom membrankog tanka.

### *11.2. Četiri stanja krcanja*

Obrađena su slijedeća četiri karakteristična stanja krcanja broda za koje je napravljena provjera trima, stabiliteta i čvrstoće:

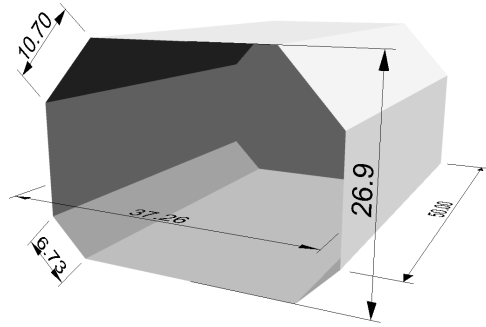
- 98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha (slučaj na početku putovanja broda punog tereta)
- 98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( kraj putovanja broda punog tereta )
- 98 % popunjenosti volumena balastnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( početak putovanja broda u balastu )
- 98 % popunjenosti volumena balastnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha (na kraju putovanja broda u balastu )

### ***11.3. Stabilitet***

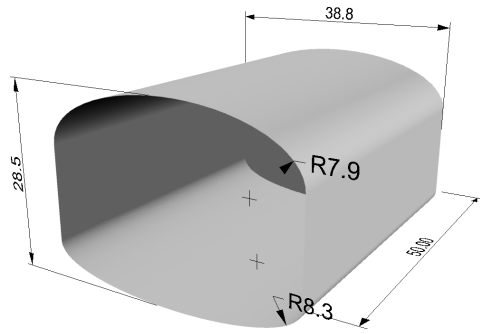
U programu GHS se jednostavno mogu odrediti i poluge stabiliteta tako da se za svako stanje krcanja odredi ukupna težina kao i položaj težišta po visini. Naravno da je za računanje stabiliteta potrebno izračunati i točnu istisninu za svako stanje krcanja kako bi se za tu istisninu računale poluge stabiliteta sa nagibom. U nastavku su dane tablice sa izračunatim težinama svakog pojedinog tanka, uključujući i njihova težišta. U proračun ulazimo s težinom praznog opremljenog broda koja iznosi 27 194.86 t i uzdužnim težištem istog koji se nalazi na udaljenosti od 150 m od krmene statve. Na kraju tablice je izračunata ukupna težina broda i pripadajuće mu težište.

#### Kriteriji minimalnog stabiliteta u skladu s IMO konvencijama:

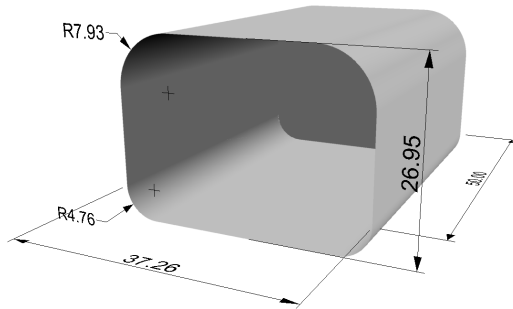
1. Površina ispod h-krivulje do 30° nagiba broda  $\Phi$  ne smije biti manja od 0,055 m rad
2. Površina ispod h-krivulje do 40° nagiba broda  $\Phi$  ne smije biti manja od 0,09 m rad
3. Površina ispod h-krivulje između 30° i 40° nagiba broda  $\Phi$  ne smije biti manja od 0,03 m rad
4. Poluga h je najmanje 0,2 m pri nagibu broda  $\Phi = 30^\circ$  i većem
5. Maksimalna vrijednost poluge h se pojavljuje na kutu nagiba broda  $\Phi$  koji prelazi 30° ali nikako manjem od 25°
6. Početna metacentarska visina ne bi smjela biti manja od 0,15 m



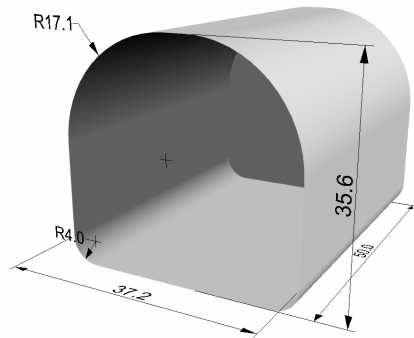
$V=44\ 568\ m^3$



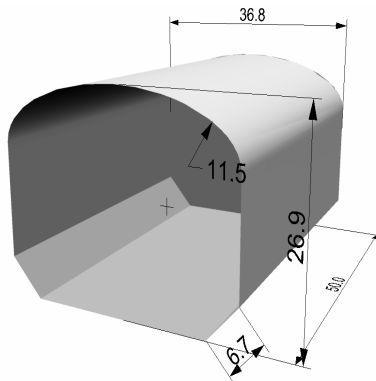
$V=42\ 968\ m^3$



$V=46\ 834\ m^3$



$V= 63\ 722\ m^3$



$V= 43\ 969\ m^3$

Slika 45: Direktna usporedba starog membranskog i novih tankova

## ***11.4. Konvencionalni oblik membranskog tanka***

### ***11.4.1. Opis tankova***

#### **TANK 1**

volumen (100%)	$V = 28088 \text{ m}^3$
duljina	$L = 38 \text{ m}$
odnos	$l/L_{pp} = 13\%$

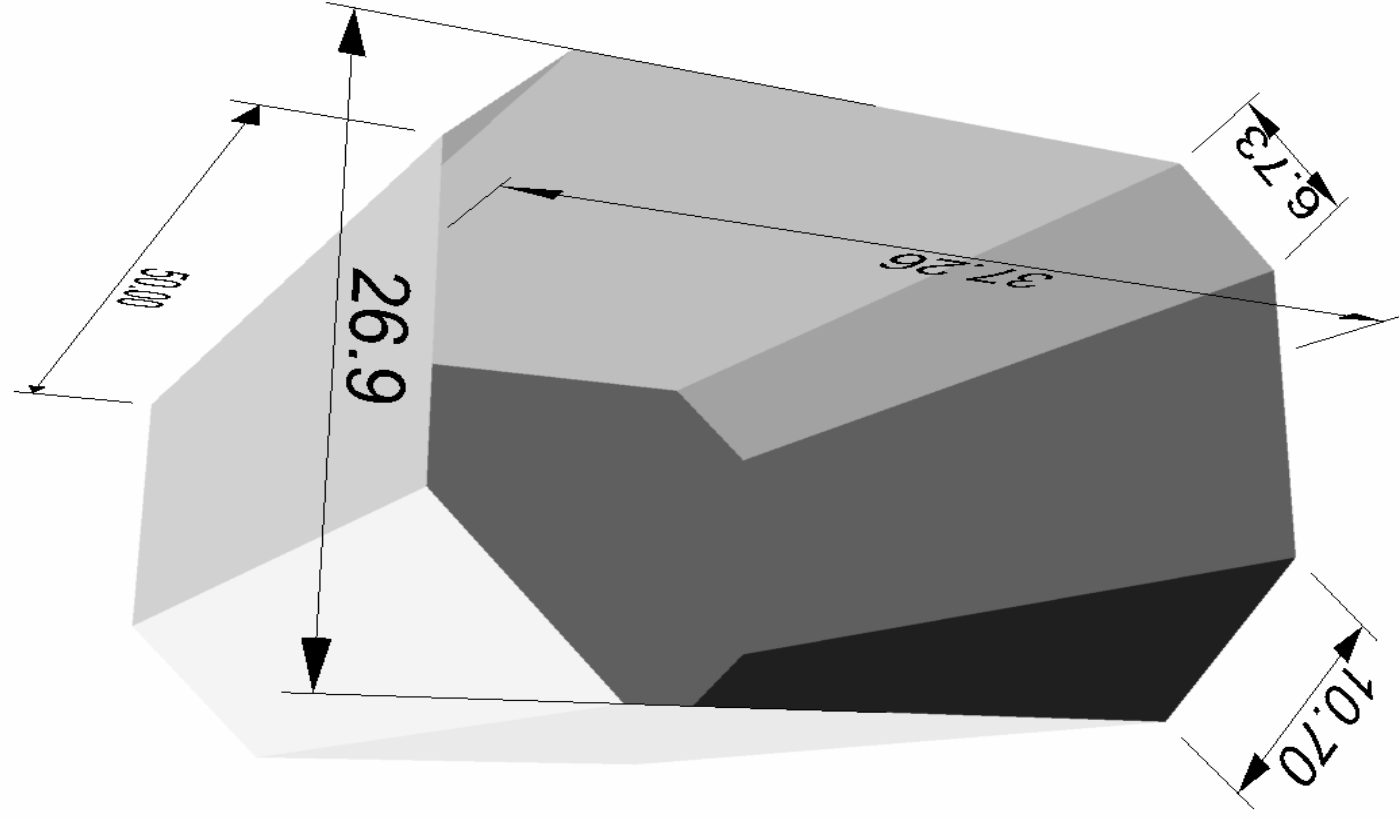
#### **TANK 2,3 i 4**

volumen (100%)	$V = 44568 \text{ m}^3$
duljina	$L = 50 \text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 17\%$

Razmak između rebara

teretnog prostora	$e = 0.955 \text{ m}$
Debljina izolacije	$d = 0.545 \text{ m}$
Tip izolacije	No96





Slika 46: Konvencionalni oblik membranskog tanka na LNG tankeru

### 11.4.2. Prvo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zalliha (slučaj na početku putovanja broda punog tereta).

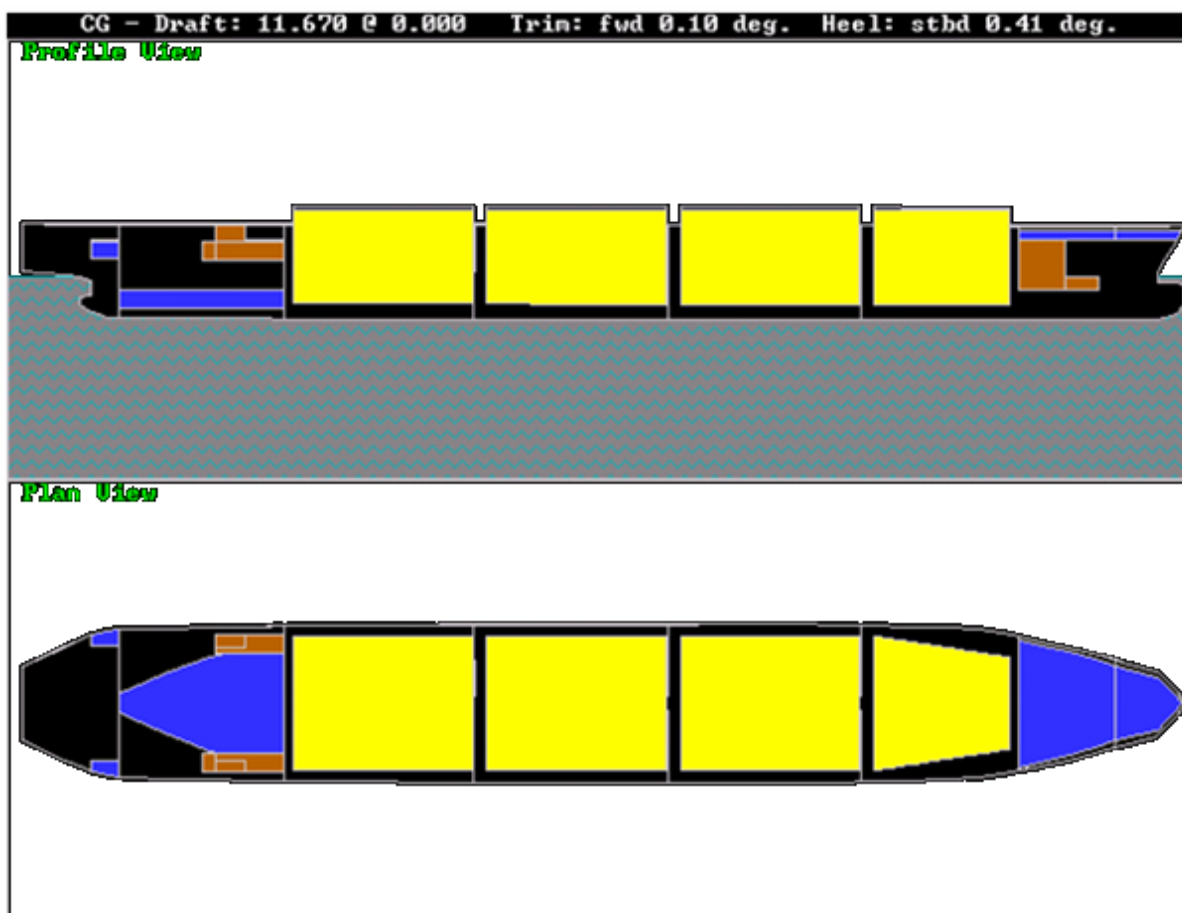
Na slici 46 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz

$T = 11.670 \text{ m}$

trim

$t = 0.10^\circ \text{ fwd (pretega)}$



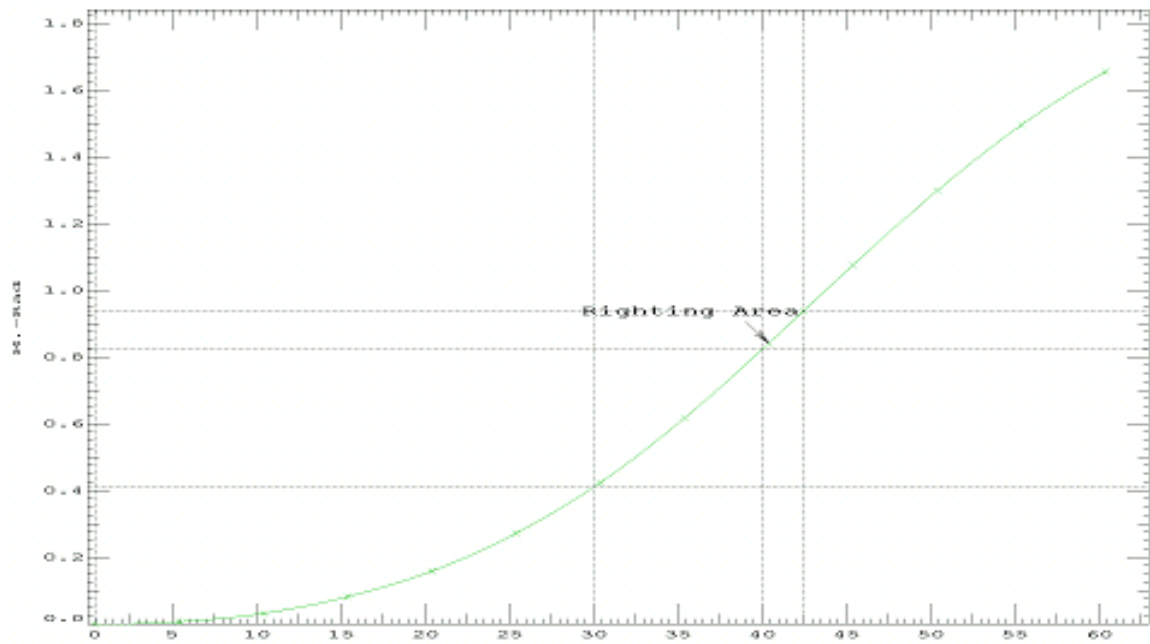
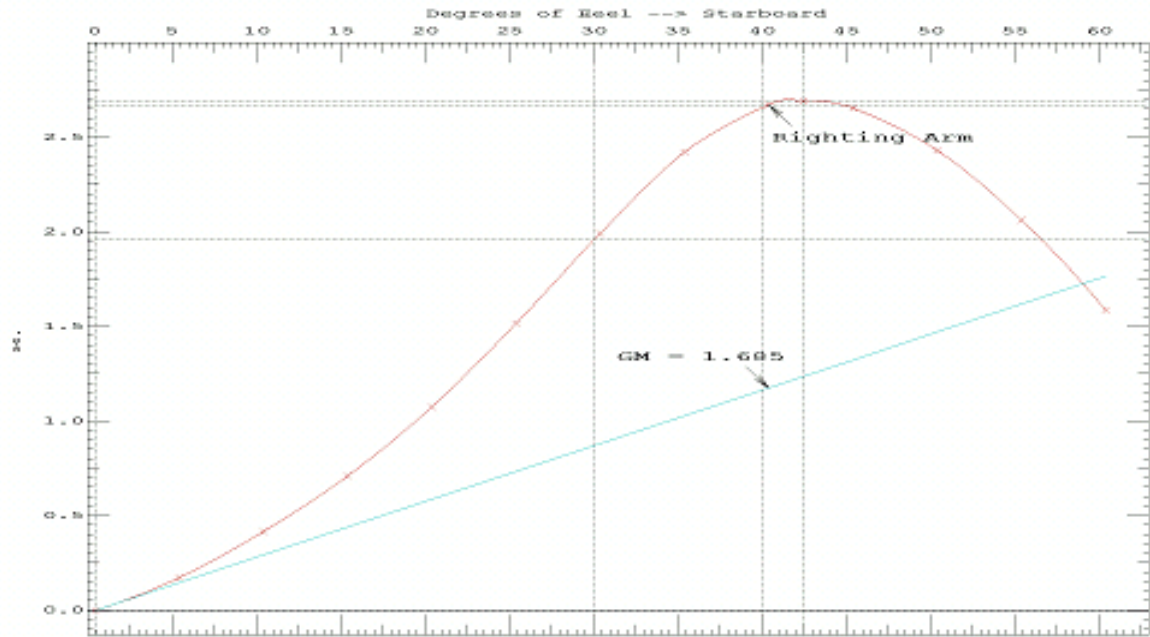
Slika 47: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1. stanje krcanja

Tabela 2: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS)

20.06.08 01:08:35  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG uglato, uglato, 1. stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 11.630 @ Origin							
Trim: Fwd 0.02 deg., Heel: Stbd 0.41 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.501f	1.584p	10.072	-11.742
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.500f	1.587s	10.072	-11.719
GTSTANK01.C	0.100	1.000	284.66	283.176f	1.132s	22.803	-22.915
GTSTANK02.C	0.100	1.000	93.34	304.801f	0.273s	22.830	-22.966
MS01.C	0.100	1.000	117.92	295.393f	0.017s	2.259	-3.738
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.500f	2.499p	15.316	-22.241
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.500f	2.501s	15.316	-22.205
MS02.C	0.090	1.000	3,303.63	48.804f	0.104s	4.779	-6.746
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.502f	16.566p	19.173	-21.799
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.502f	16.572s	19.173	-21.561
FW04.P	0.980	1.000	135.56	16.577f	17.721p	19.415	-21.836
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.579f	17.726s	19.415	-21.578
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.000f	16.572s	19.173	-21.564
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	51.000f	17.440p	24.030	-26.368
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	51.000f	17.442s	24.030	-26.117
T1	0.980	0.500	14,044.65	248.181f	0.006s	17.090	-30.343
T2	0.980	0.500	22,284.17	201.502f	0.009s	17.167	-30.432
T3	0.980	0.500	22,284.17	147.502f	0.009s	17.167	-30.449
T4	0.980	0.500	22,284.17	93.602f	0.009s	17.167	-30.465
<b>Total Tanks</b>			<b>87,845.34</b>	<b>161.730f</b>	<b>0.032s</b>	<b>16.687</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>115,040.23</b>	<b>158.957f</b>	<b>0.025s</b>	<b>15.816</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	115,045.85	158.959f	0.094s	6.118	-11.630
	Righting Arms:			0.001a	0.000s		
Distances in METERS.							



Dijagram 1: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka

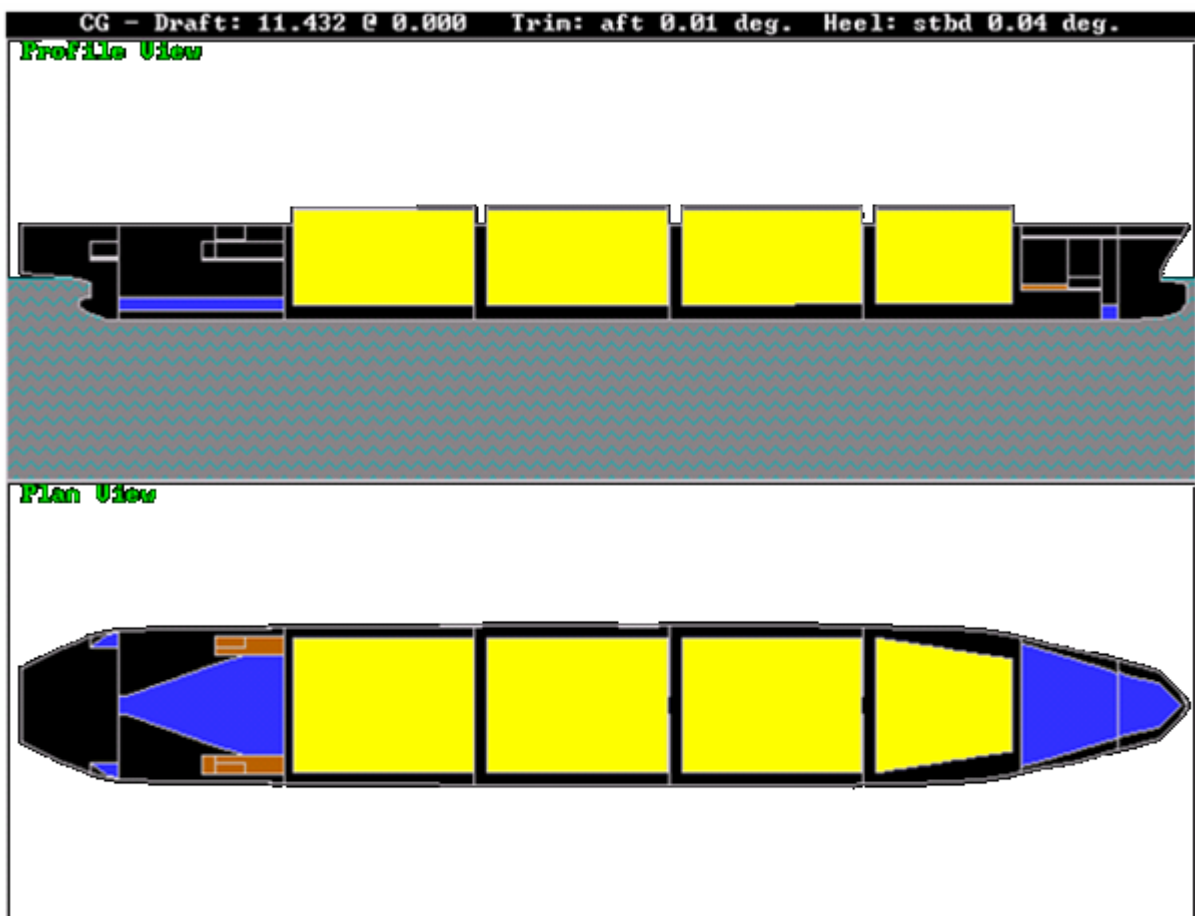
### 11.4.3. Drugo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( kraj putovanja broda punog tereta )

Na slici 47 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz  $T = 11.432 \text{ m}$

trim  $t = 0.01^\circ \text{ aft (zatega)}$



Slika 48: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2. stanje krcanj

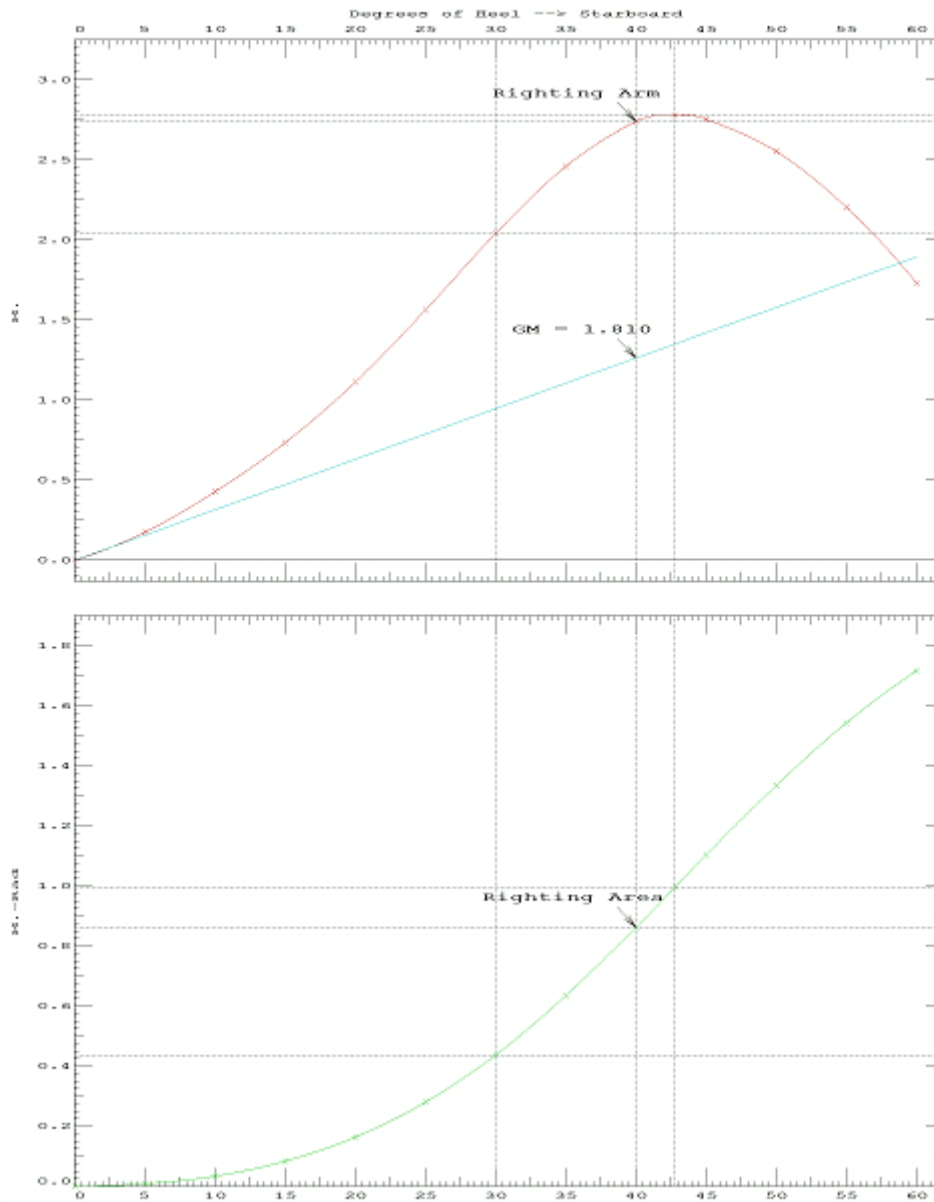
Tabela 3: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS)

20.06.08 01:08:35  
GHS 11.00

University of Zagreb

LNG, uglato, uglato, 2. stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 11.429 @ Origin							
Trim: Aft 0.01 deg., Heel: Stbd 0.04 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.494f	1.584p	8.503	-8.755
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.494f	1.587s	8.503	-8.753
GTSTANK01.C	0.100	1.000	284.66	283.096f	0.111s	22.799	-23.075
GTSTANK02.C	0.100	1.000	93.34	304.778f	0.027s	22.829	-23.137
MS01.C	0.100	1.000	117.92	295.393f	0.002s	2.259	-3.904
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.498f	2.499p	9.038	-9.823
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.498f	2.501s	9.038	-9.820
MS02.C	0.080	1.000	2,930.44	48.772f	0.011s	4.553	-6.355
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.485f	16.566p	16.905	-17.189
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.485f	16.572s	16.905	-17.166
FW04.P	0.100	1.000	13.83	17.068f	17.504p	17.002	-17.345
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.069f	17.507s	17.002	-17.320
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	44.999f	16.572s	16.905	-17.163
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	50.997f	17.440p	22.029	-22.282
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	50.997f	17.442s	22.029	-22.257
T1	0.980	0.500	14,044.65	248.180f	0.001	17.090	-30.482
T2	0.980	0.500	22,284.17	201.499f	0.001s	17.167	-30.546
T3	0.980	0.500	22,284.17	147.498f	0.001s	17.167	-30.532
T4	0.980	0.500	22,284.17	93.599f	0.001s	17.167	-30.518
<b>Total Tanks</b>			<b>84,699.75</b>	<b>161.734f</b>	<b>0.003s</b>	<b>16.704</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>111,894.64</b>	<b>158.882f</b>	<b>0.002s</b>	<b>15.804</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	111,867.73	158.883f	0.009s	5.964	-11.429
	Righting Arms:			0.004f	0.000		
Distances in METERS.							



Dijagram 2: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka ( program GHS )

#### 11.4.4. Treće stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balastnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( početak putovanja broda u balastu )

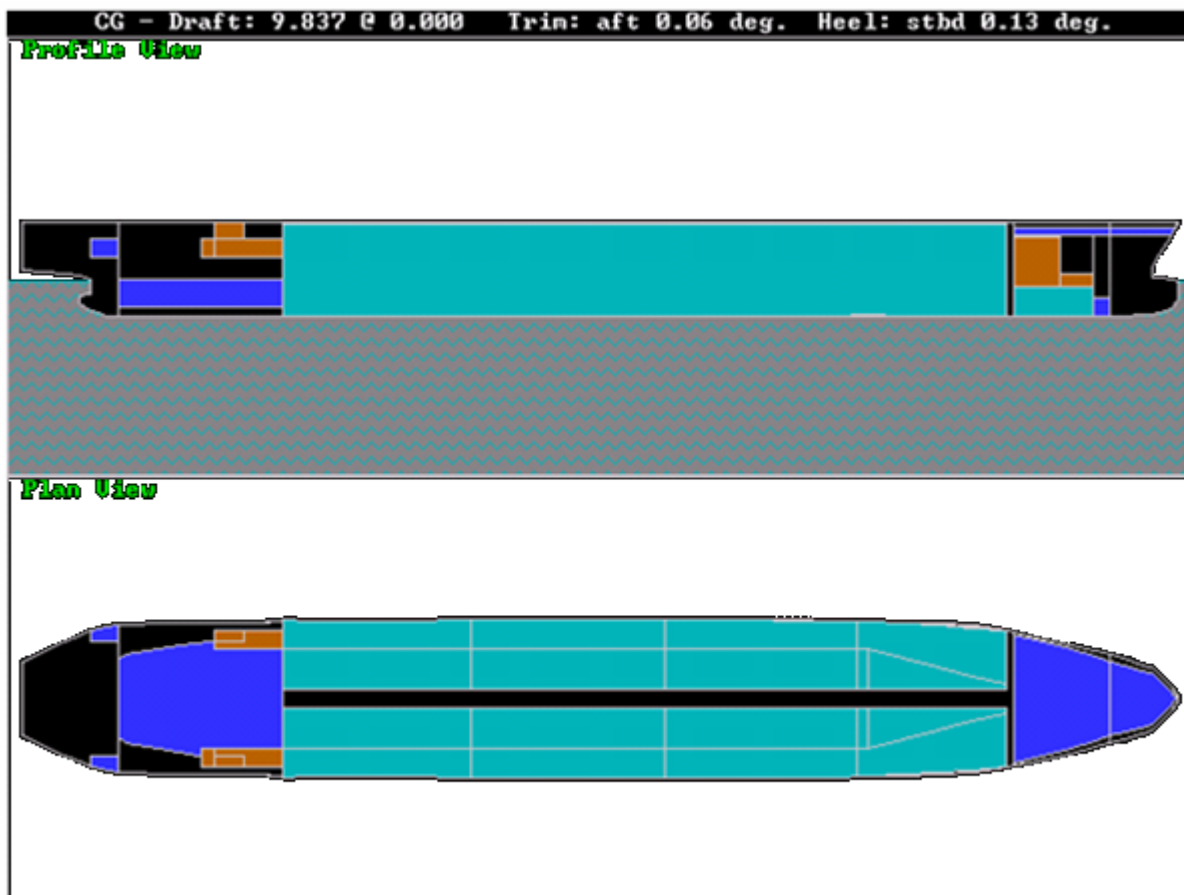
Na slici 48 su balastni tankovi obojeni u plavo.

gaz

$T = 9.837 \text{ m}$

trim

$t = 0.06^\circ \text{ aft (zatega)}$



Slika 49: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za treće stanje krcanja



Tabela 4: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS)

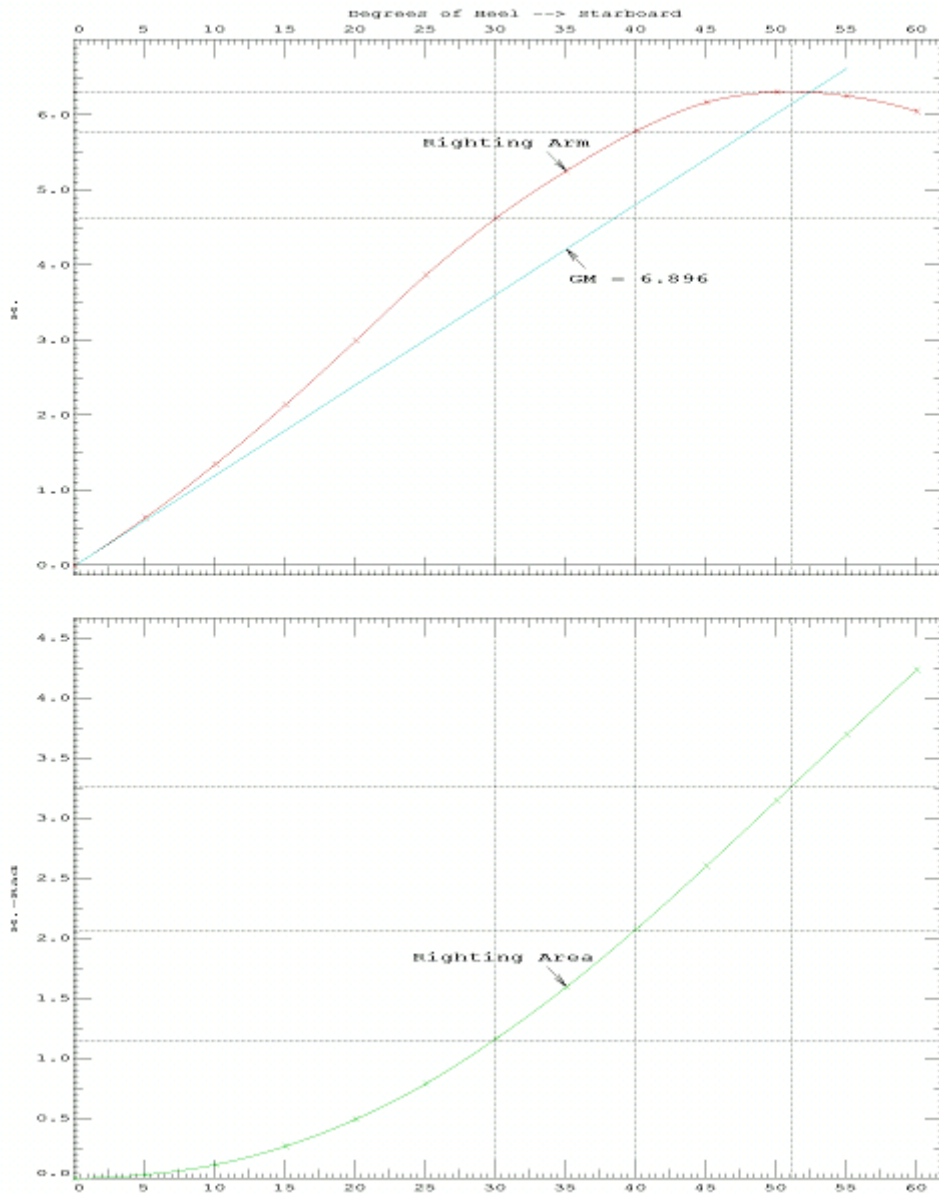
20.06.08 01:08:35  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG, uglato, uglato, 3. stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 9.838 @ Origin							
Trim: Aft 0.06 deg., Heel: Stbd 0.13 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.95	280.584f	3.954p	4.581	-8.470
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.95	280.580f	3.960s	4.581	-8.449
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.498f	1.585p	10.072	-12.102
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.498f	1.586s	10.072	-12.095
GTSTANK01.C	0.550	1.000	1,564.88	283.194f	0.079s	23.690	-25.022
GTSTANK02.C	0.550	1.000	513.36	305.010f	0.026s	23.792	-25.174
MS01.C	0.150	1.000	176.77	295.395f	0.004s	3.004	-5.435
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.499f	2.500p	15.316	-22.582
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.499f	2.500s	15.316	-22.572
MS02.C	0.200	1.000	7,325.99	47.756f	0.037s	6.937	-10.371
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.494f	16.568p	19.173	-21.789
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.494f	16.570s	19.173	-21.716
FW04.P	0.980	1.000	135.56	16.576f	17.723p	19.416	-21.768
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.577f	17.724s	19.416	-21.690
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.000f	16.570s	19.173	-21.705
BO01.P	0.980	1.025	17,962.72	171.264f	18.382p	12.241	-26.291
BO01.S	0.980	1.025	17,962.72	171.246f	18.384s	12.241	-26.211
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.87	92.760f	8.025p	1.785	-3.604
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.87	92.760f	8.039s	1.785	-3.569
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.84	145.993f	8.092p	1.750	-3.654
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.84	145.993f	8.105s	1.750	-3.619
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.87	201.409f	8.090p	1.749	-3.708
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.87	201.409f	8.104s	1.749	-3.673
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.29	244.574f	6.243p	1.755	-3.746
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.29	244.558f	6.252s	1.754	-3.718
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	50.999f	17.441p	24.030	-26.347
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	50.999f	17.442s	24.030	-26.270
<b>Total Tanks</b>			<b>66,134.69</b>	<b>163.580f</b>	<b>0.030s</b>	<b>9.557</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>93,329.56</b>	<b>159.623f</b>	<b>0.021s</b>	<b>10.560</b>	
<b>HULL</b>		1.025	<b>93,331.94</b>	<b>159.618f</b>	<b>0.033s</b>	<b>5.053</b>	<b>-9.838</b>
	<b>Righting Arms:</b>			<b>0.000</b>	<b>0.000</b>		
<b>Distances in METERS.</b>							

20.06.08 01:08:35  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG,uglato,uglato,3.stanje krcanja



Dijagram 3: Krivulje stabiliteta za treće stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka ( program GHS )

### 11.4.5. Četrto stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balasnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha (na kraju putovanja broda u balastu )

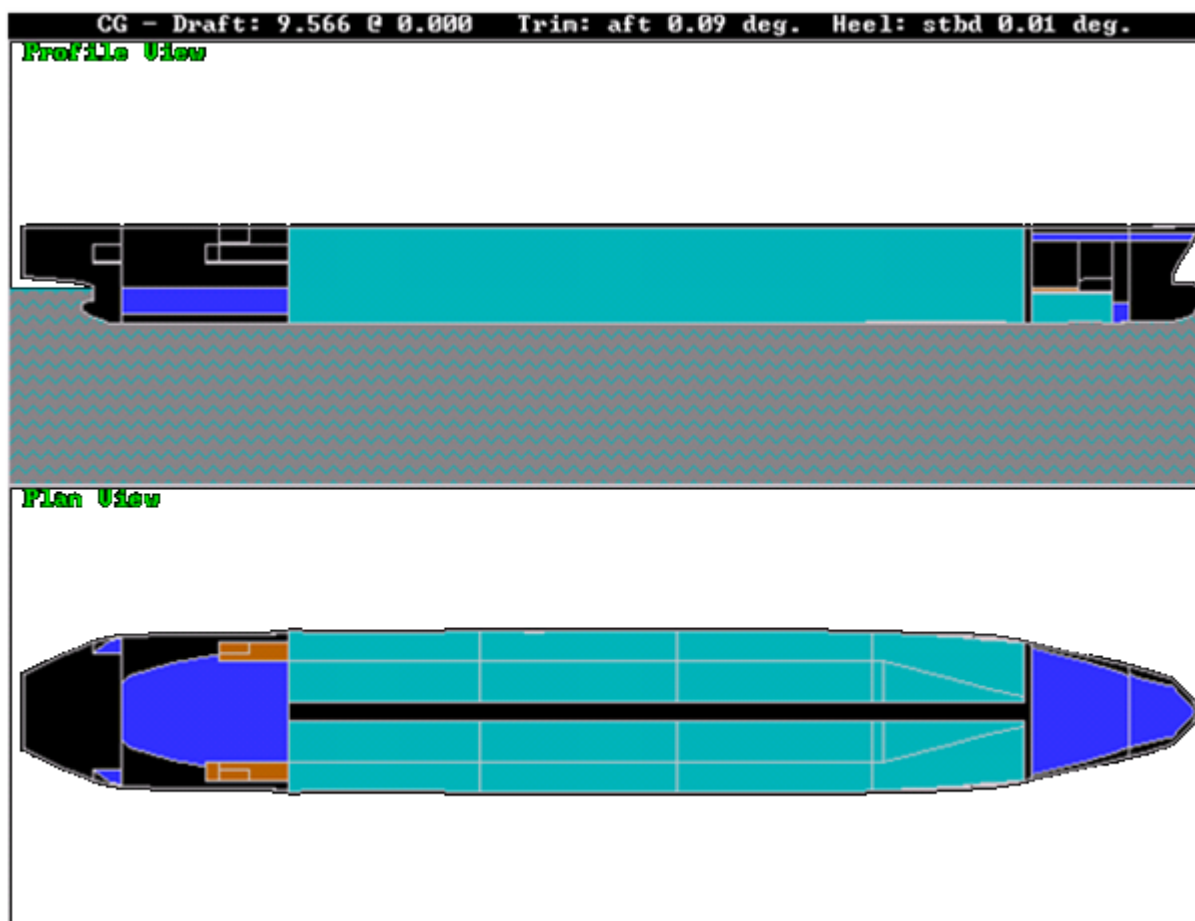
Na slici 49 su balastni tankovi obojeni u plavo.

gaz

T = 9.566 m

trim

t = 0.09° aft (zatega)



Slika 50: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4.stanje krcanj

Tabela 5: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS)

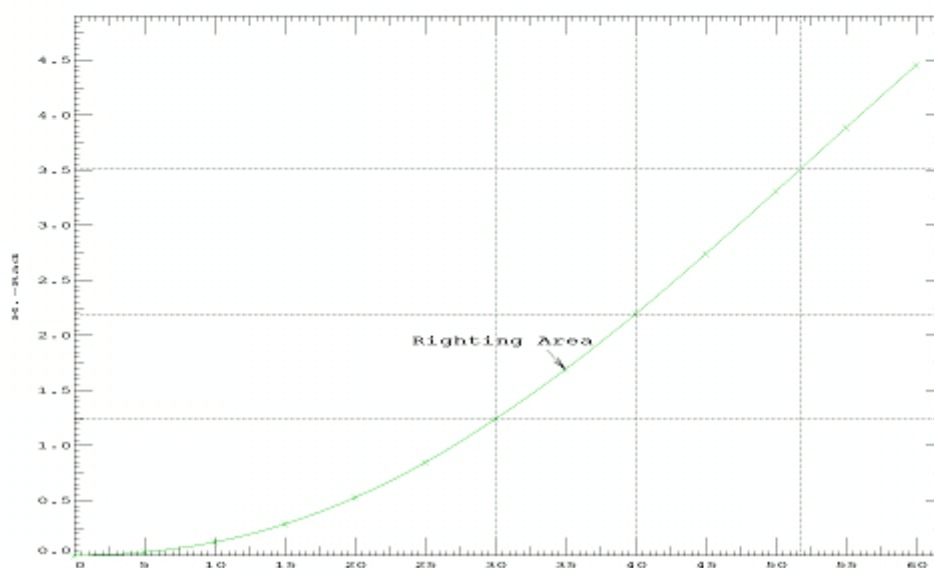
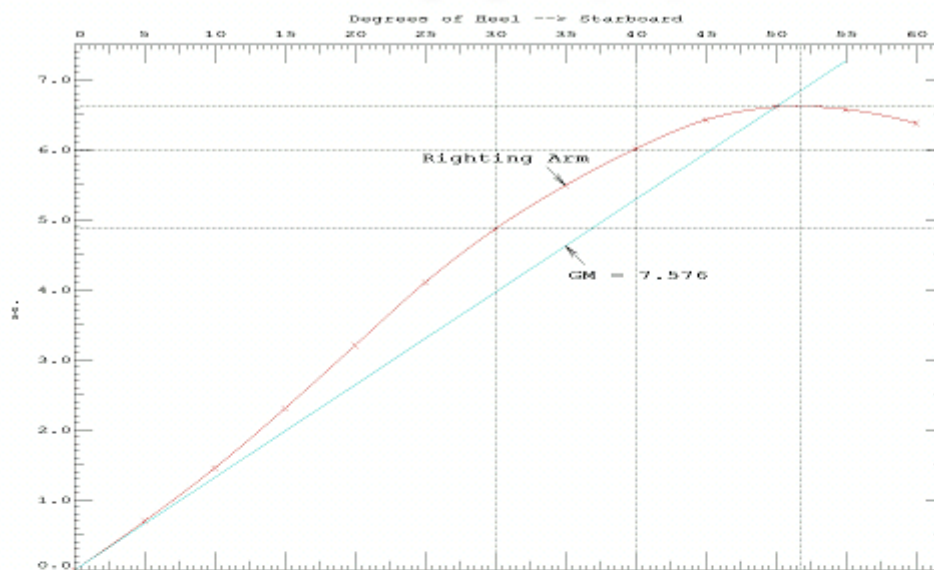
20.06.08 01:08:35  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG,uglato,uglato,4.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 9.570 @ Origin							
Trim: Aft 0.09 deg., Heel: Stbd 0.01 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.95	280.579f	3.957p	4.581	-8.634
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.95	280.579f	3.958s	4.581	-8.632
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.469f	1.585p	8.503	-9.139
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.469f	1.586s	8.503	-9.138
GTSTANK01.C	0.450	1.000	1,280.42	283.147f	0.009s	23.496	-24.822
GTSTANK02.C	0.450	1.000	420.04	304.950f	0.003s	23.590	-24.992
MS01.C	0.150	1.000	176.77	295.395f	0.000	3.004	-5.617
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.484f	2.500p	9.038	-10.192
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.484f	2.500s	9.038	-10.191
MS02.C	0.180	1.000	6,593.60	48.046f	0.003s	6.584	-9.870
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.407f	16.568p	16.905	-17.256
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.407f	16.570s	16.905	-17.249
FW04.P	0.100	1.000	13.83	17.062f	17.503p	17.002	-17.360
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.062f	17.504s	17.002	-17.352
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	44.996f	16.570s	16.905	-17.231
BO01.P	0.980	1.025	17,962.72	171.086f	18.385p	12.241	-26.362
BO01.S	0.980	1.025	17,962.71	171.084f	18.385s	12.241	-26.354
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.87	92.718f	8.031p	1.785	-3.645
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.87	92.718f	8.032s	1.785	-3.642
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.84	145.950f	8.098p	1.750	-3.729
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.84	145.950f	8.099s	1.750	-3.725
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.87	201.361f	8.096p	1.749	-3.817
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.87	201.361f	8.098s	1.749	-3.814
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.29	244.549f	6.249p	1.754	-3.884
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.29	244.548f	6.250s	1.754	-3.881
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	50.981f	17.441p	22.029	-22.341
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	50.981f	17.442s	22.029	-22.333
<b>Total Tanks</b>			<b>62,252.11</b>	<b>163.522f</b>	<b>0.003s</b>	<b>9.104</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>89,446.99</b>	<b>159.411f</b>	<b>0.002s</b>	<b>10.288</b>	
<b>HULL</b>		1.025	<b>89,451.48</b>	<b>159.390f</b>	<b>0.003s</b>	<b>4.860</b>	<b>-9.570</b>
	<b>Righting Arms:</b>			<b>0.012a</b>	<b>0.000</b>		
<b>Distances in METERS.</b>							

20.06.08 01:08:35  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker,uglato,uglato,4.stanje krcanja



Dijagram 4: Krivulje stabiliteta za četvrto stanje krcanja LNG broda s konvencionalnim oblikom membranskog tanka ( program GHS )

## ***11.5. Novi oblik membranskog tanka, poprečni presjek sa poluelipsom na donjem i gornjem dijelu***

### ***11.5.1. Podaci o teretnim tankovima***

#### TANK 1

volumen (100%)	$V = 26\,150\text{ m}^3$
duljina	$L = 38\text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 13\%$

#### TANK 2,3 i 4

volumen (100%)	$V = 42\,968\text{ m}^3$
duljina	$L = 50\text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 17\%$

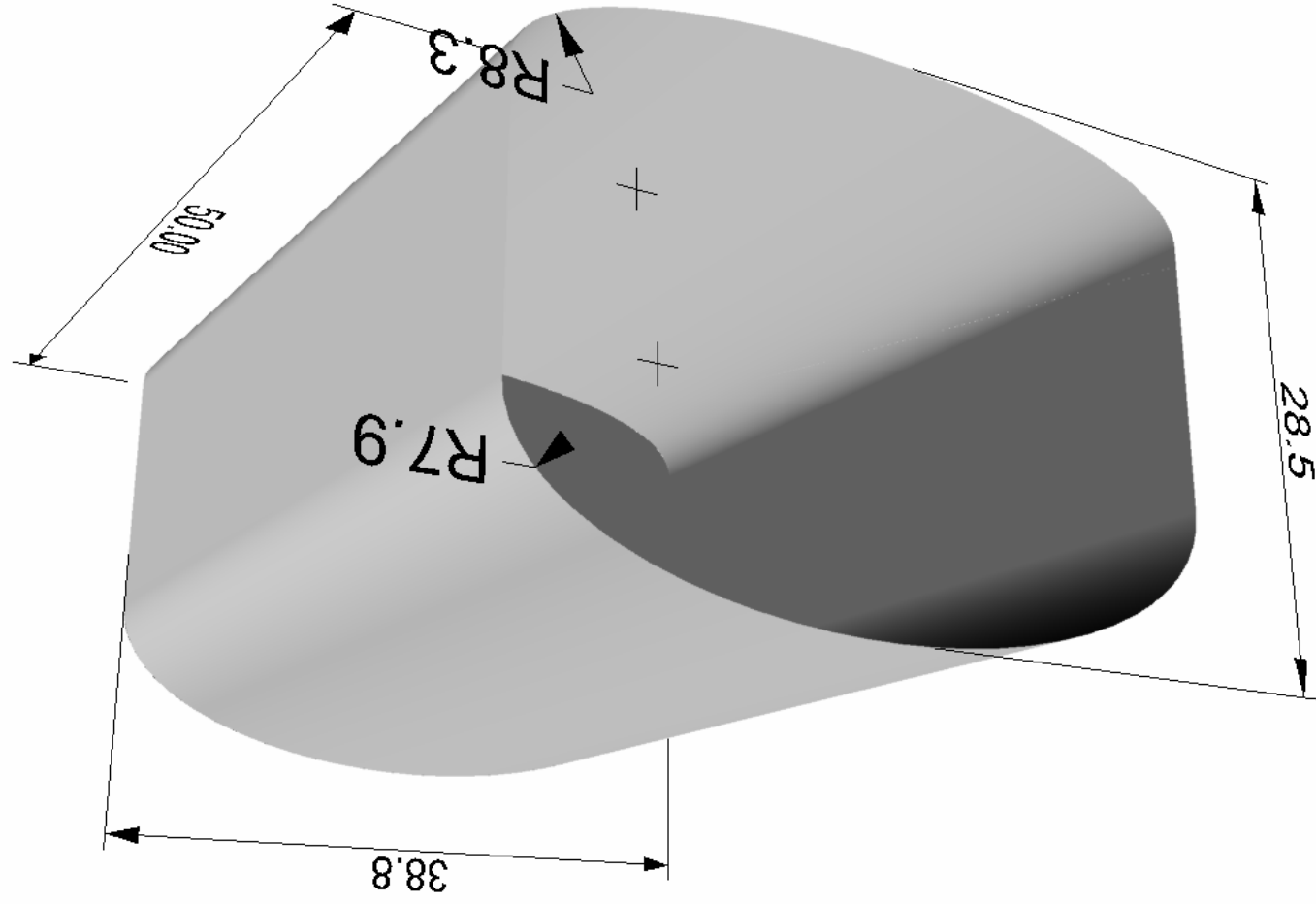
Razmak između rebara

teretnog prostora  $e = 0.955\text{ m}$

Debljina izolacije  $d = 0.545\text{ m}$

Tip izolacije No96

Ovaj tip tanka je zadržao visinu i širinu konvencionalnog tanka opisanog u točki 10.4. Razlika je u tome što se gubi karakteristični poprečni presjek s uglatim rubovima i zamjenjuje ga poprečni presjek sa poluelipsom na donjem i gornjem dijelu.



Slika 51: LNG tank poprečni presjek sa poluelipsom na donjem i gornjem dijelu

### 11.5.2. Prvo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zalliha (slučaj na početku putovanja broda punog tereta)

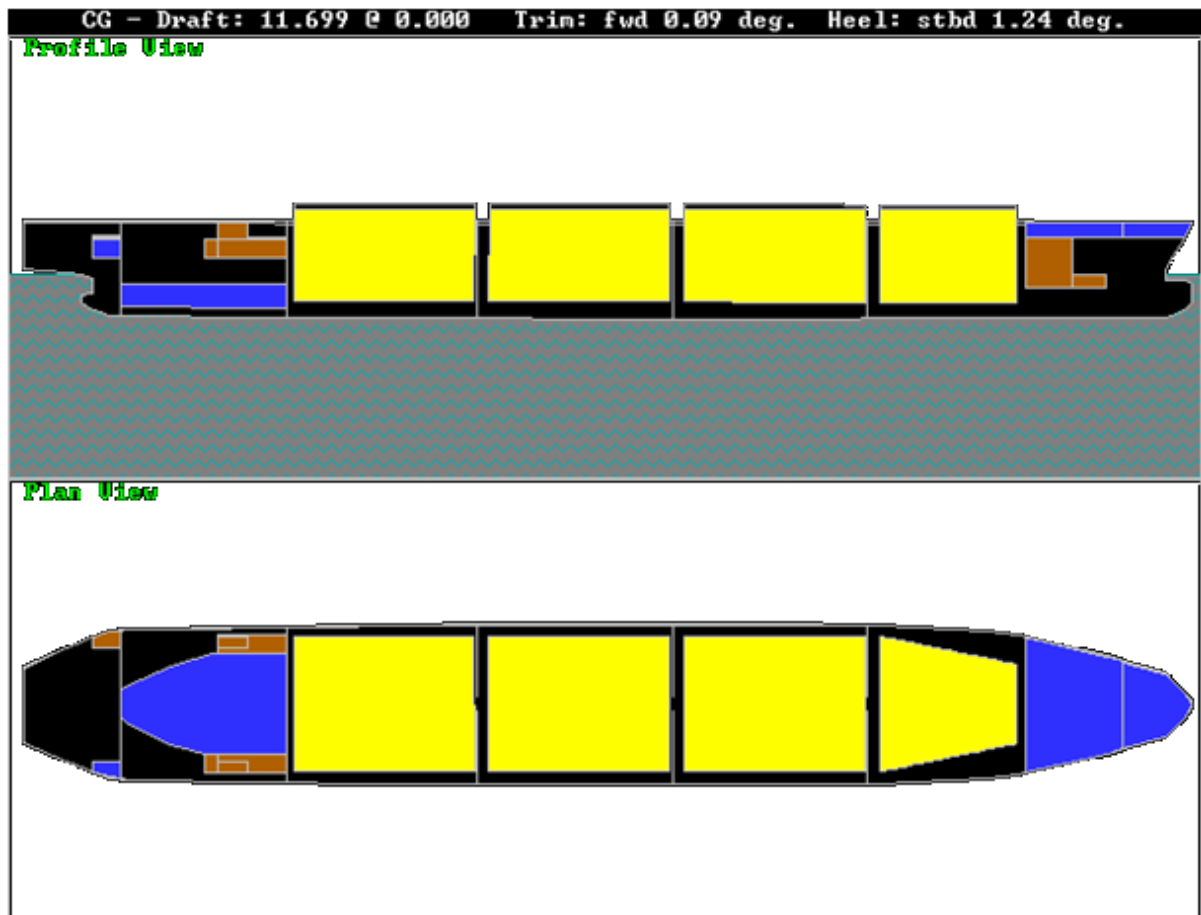
Na slici 51 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz

$T = 11.699 \text{ m}$

trim

$t = 0.09^\circ \text{ aft (zatega)}$



Slika 52: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1.stanje krcanja



Tabela 6: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS)

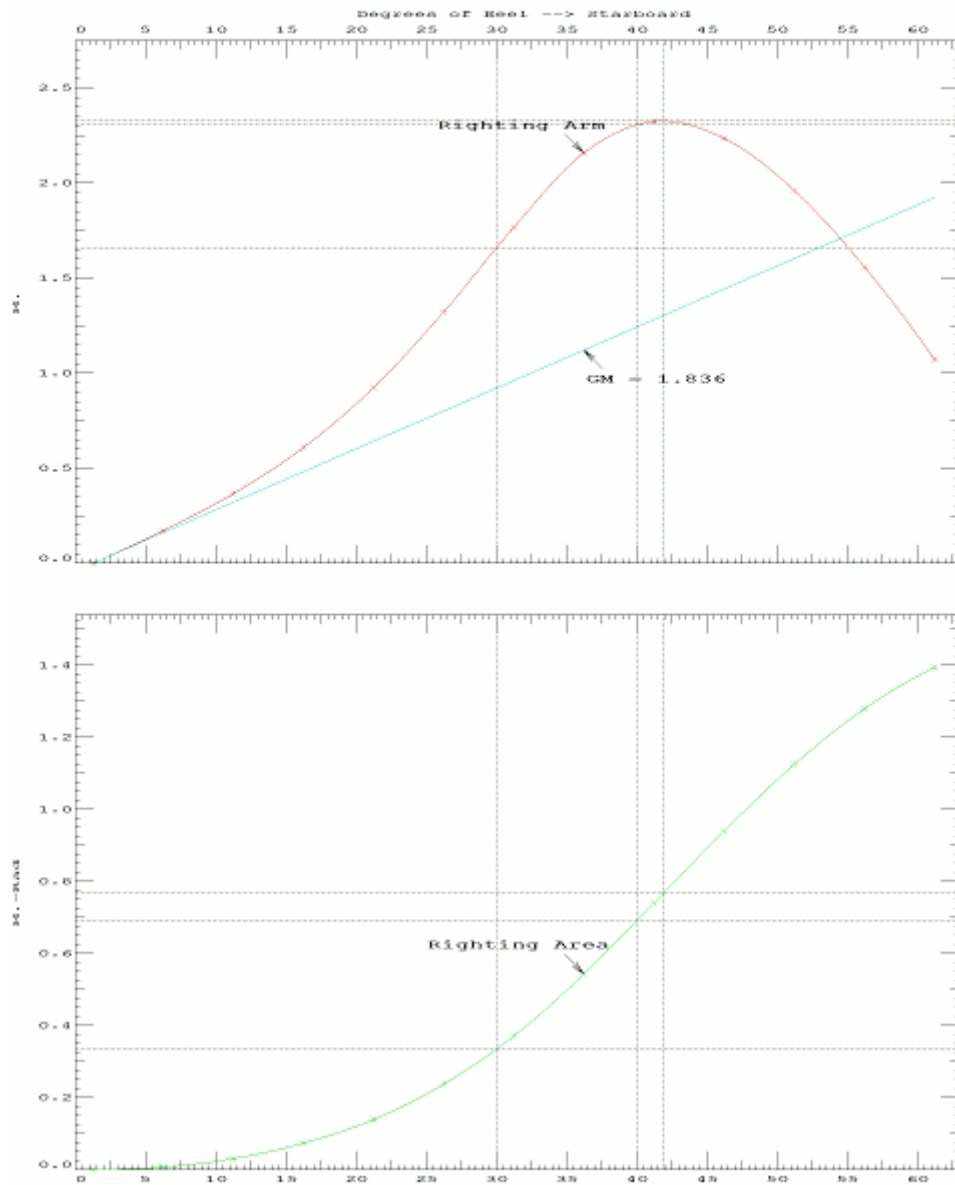
18.06.08 11:45:44  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG,2 ellipse,1.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 11.696 @ Origin							
Trim: Fwd 0.09 deg., Heel: Stbd 1.24 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.503f	1.580p	10.072	-11.376
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.503f	1.591s	10.072	-11.308
GTSTANK01.C	0.980	1.000	2,788.26	283.355f	0.231s	24.497	-25.913
GTSTANK02.C	0.980	1.000	914.79	305.246f	0.130s	24.593	-25.826
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.502f	2.497p	15.316	-21.900
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.502f	2.503s	15.316	-21.793
MS02.C	0.150	1.000	5,495.71	48.528f	0.317s	6.022	-8.829
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.510f	16.560p	19.173	-21.958
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.510f	16.577s	19.173	-21.242
FW04.P	0.980	0.870	117.94	16.577f	17.717p	19.416	-22.068
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.582f	17.731s	19.415	-21.294
DW04.S	0.980	1.000	135.56	16.582f	17.731s	19.415	-21.294
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.000f	16.577s	19.173	-21.261
CT	0.980	0.500	13,075.12	247.826f	0.012s	17.273	-29.600
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	51.002f	17.437p	24.030	-26.546
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	51.002f	17.445s	24.030	-25.792
T1	0.980	0.500	21,784.32	92.995f	0.017s	17.272	-29.858
T2	0.980	0.500	21,784.14	147.121f	0.017s	17.273	-29.769
T3	0.980	0.500	21,736.07	201.385f	0.017s	17.285	-29.682
<b>Total Tanks</b>			<b>90,844.98</b>	<b>162.251f</b>	<b>0.087s</b>	<b>16.883</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>118,039.87</b>	<b>159.429f</b>	<b>0.067s</b>	<b>15.989</b>	
<b>HULL</b>		1.025	<b>118,039.56</b>	<b>159.449f</b>	<b>0.277s</b>	<b>6.266</b>	<b>-11.693</b>
	<b>Righting Arms:</b>			<b>0.005f</b>	<b>0.000s</b>		
<b>Distances in METERS.</b>							

18.06.08 11:45:44  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG,2 ellipse,1.stanje krcanja



Dijagram 5: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s tankom u obliku poluelipse na gornjem i donjem dijelu ( program GHS )

### 11.5.3. Drugo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( kraj putovanja broda punog tereta )

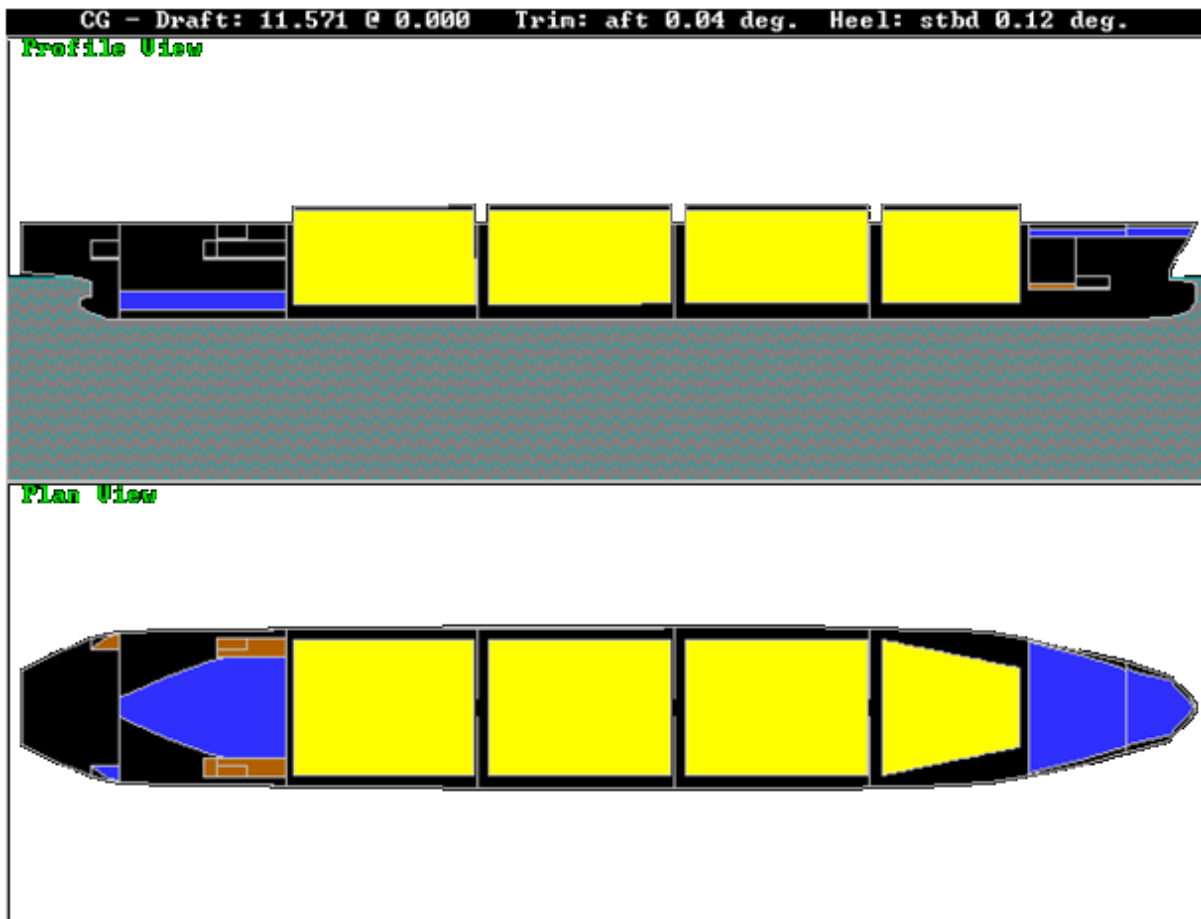
Na slici 52 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz

$T = 11.571 \text{ m}$

trim

$t = 0.04^\circ \text{ aft (zatega)}$



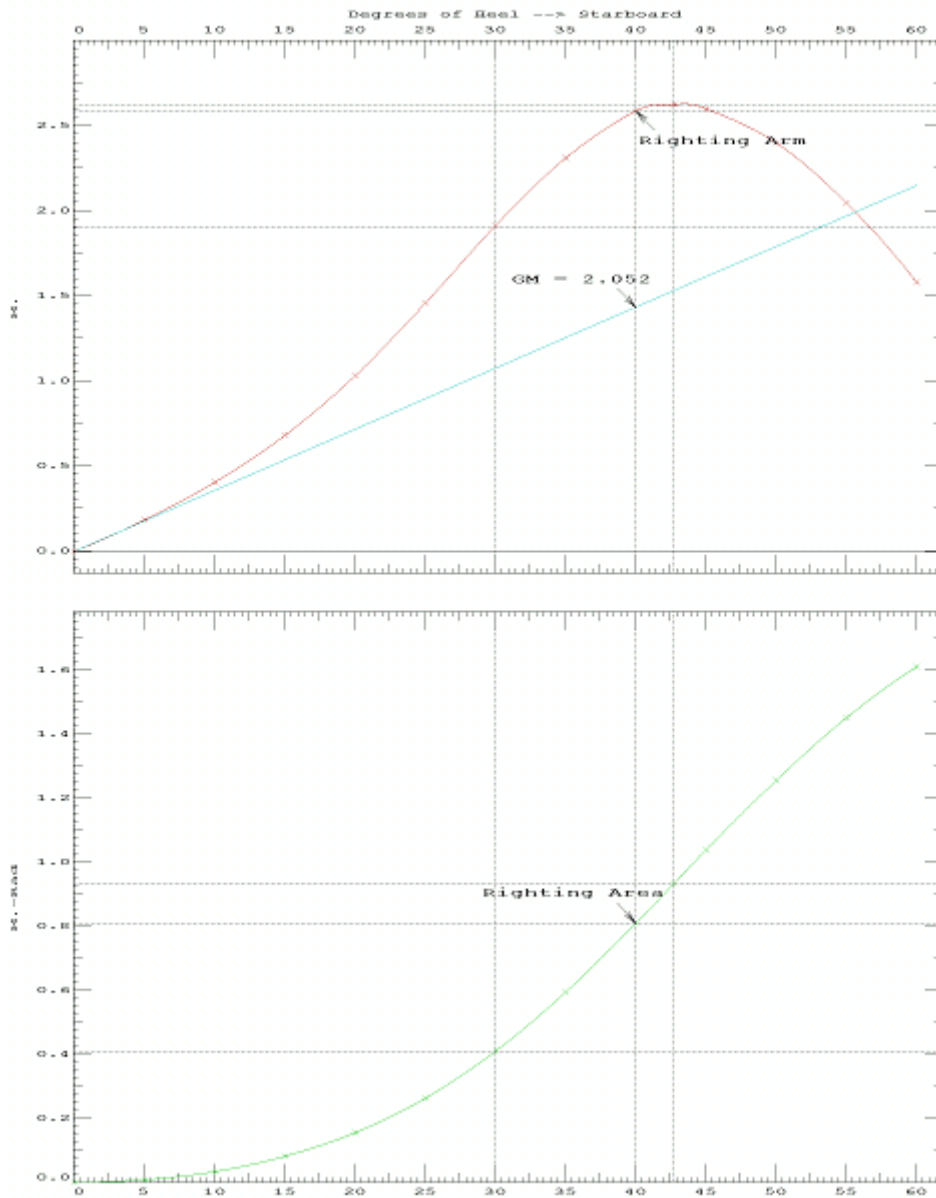
Slika 53: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2.stanje krcanja

Tabela 7: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS)

18.06.08 11:54:11  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG,2 ellipse,2.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 11.607 @ Origin							
Trim: Aft 0.12 deg., Heel: Stbd 0.10 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.460f	1.581p	8.503	-9.287
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.460f	1.590s	8.503	-9.281
GTSTANK01.C	0.300	1.000	853.59	283.066f	0.106s	23.201	-24.388
GTSTANK02.C	0.300	1.000	280.06	304.858f	0.030s	23.275	-24.556
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.479f	2.497p	9.038	-10.336
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.479f	2.503s	9.038	-10.327
MS02.C	0.100	1.000	3,668.84	48.717f	0.026s	4.996	-7.261
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.378f	16.562p	16.905	-17.311
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.378f	16.576s	16.905	-17.251
FW04.P	0.100	0.870	12.04	17.058f	17.499p	17.003	-17.397
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.061f	17.506s	17.002	-17.333
DW04.S	0.100	1.000	13.83	17.061f	17.506s	17.002	-17.333
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	44.994f	16.576s	16.905	-17.227
CT	0.980	0.500	13,075.13	247.816f	0.001s	17.273	-30.527
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	50.975f	17.438p	22.029	-22.395
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	50.975f	17.444s	22.029	-22.331
T1	0.980	0.500	21,784.33	92.977f	0.001s	17.272	-30.204
T2	0.980	0.500	21,784.15	147.103f	0.001s	17.273	-30.317
T3	0.980	0.500	21,736.08	201.367f	0.001s	17.284	-30.432
<b>Total Tanks</b>			<b>83,570.42</b>	<b>160.542f</b>	<b>0.009s</b>	<b>16.798</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>110,765.31</b>	<b>157.954f</b>	<b>0.007s</b>	<b>15.866</b>	
			<b>Disp(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	110,767.94	157.933f	0.025s	5.912	-11.607
		Righting Arms:		0.000	0.000		
Distances in METERS.							



Dijagram 6: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s tankom u obliku poluelipse na gornjem i donjem dijelu ( program GHS )

### 11.5.4. Treće stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balastnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( početak putovanja broda u balastu )

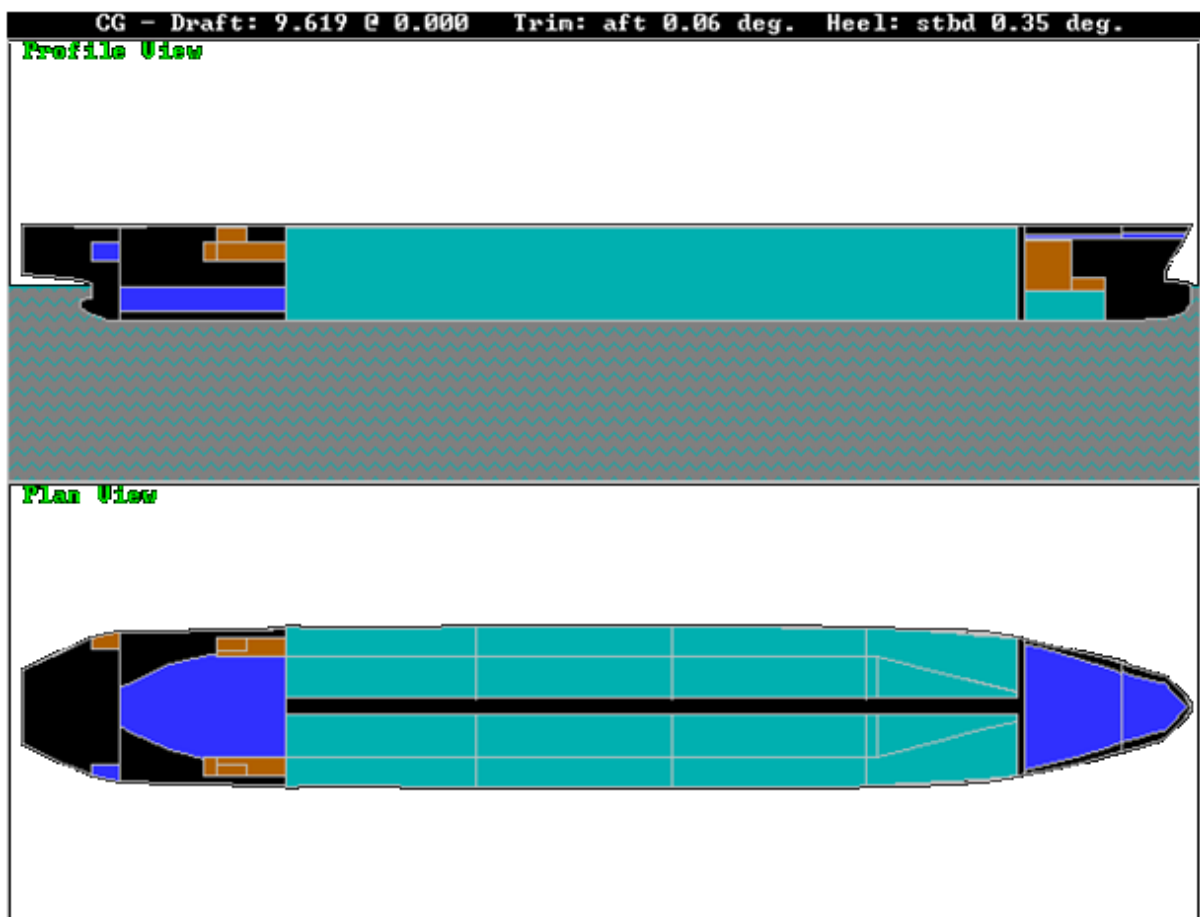
Na slici 53 su balastni tankovi obojeni u plavo.

gaz

$$T = 9.619 \text{ m}$$

trim

$$t = 0.06^\circ \text{ aft (zatega)}$$



Slika 54: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 3.stanje krcanja

Tabela 8: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS)

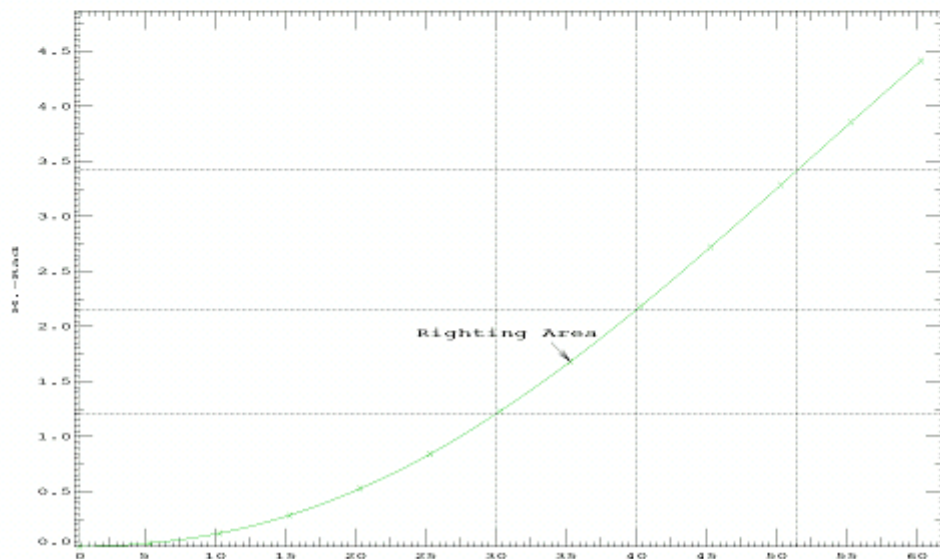
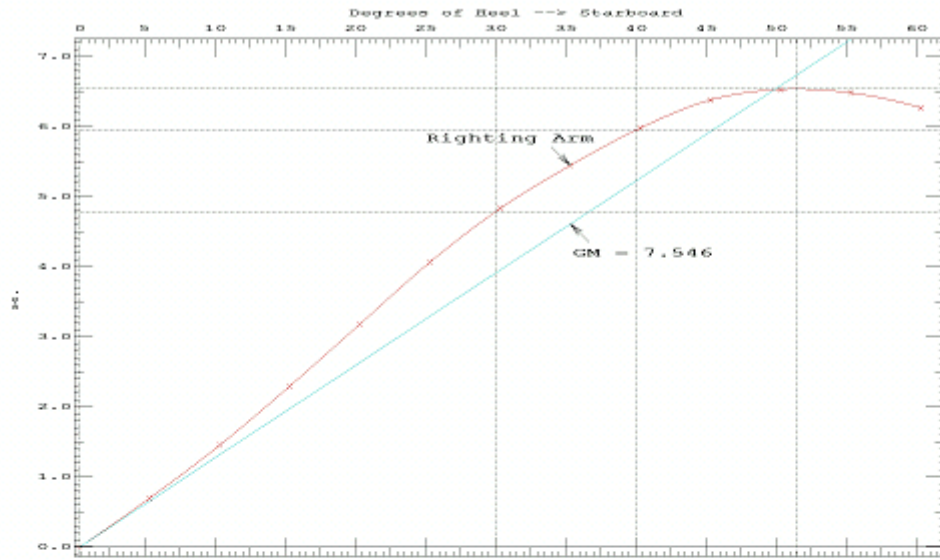
18.06.08 11:54:11  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNGtanker,2 elipse,3 stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 9.801 @ Origin							
Trim: Aft 0.11 deg., Heel: Stbd 0.34 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.77	280.582f	3.950p	4.580	-8.773
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.76	280.571f	3.965s	4.580	-8.718
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.496f	1.584p	10.072	-12.403
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.496f	1.587s	10.072	-12.385
GTSTANK01.C	0.300	1.000	853.59	283.071f	0.346s	23.202	-24.360
GTSTANK02.C	0.300	1.000	280.06	304.859f	0.097s	23.275	-24.526
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.498f	2.499p	15.316	-22.876
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.498f	2.501s	15.316	-22.846
MS02.C	0.170	1.000	6,227.53	48.176f	0.092s	6.401	-9.608
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.488f	16.566p	19.173	-21.908
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.488f	16.571s	19.173	-21.712
FW04.P	0.980	0.870	117.93	16.575f	17.722p	19.416	-21.851
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.576f	17.726s	19.416	-21.639
DW04.S	0.980	1.000	135.56	16.576f	17.726s	19.416	-21.639
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	44.999f	16.571s	19.173	-21.689
BO01.P	0.980	1.025	17,965.75	170.998f	18.384p	12.243	-26.538
BO01.S	0.980	1.025	17,963.07	170.950f	18.390s	12.242	-26.320
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.76	92.691f	8.013p	1.785	-3.729
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.76	92.691f	8.050s	1.785	-3.633
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.74	145.923f	8.080p	1.750	-3.834
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.74	145.923f	8.117s	1.750	-3.738
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.72	201.331f	8.079p	1.749	-3.945
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.72	201.331f	8.115s	1.749	-3.849
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.29	244.558f	6.239p	1.754	-4.019
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.29	244.516f	6.264s	1.754	-3.944
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	50.998f	17.440p	24.030	-26.464
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	50.998f	17.442s	24.030	-26.257
<b>Total Tanks</b>			<b>64,035.06</b>	<b>162.953f</b>	<b>0.084s</b>	<b>9.369</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>91,229.95</b>	<b>159.092f</b>	<b>0.059s</b>	<b>10.452</b>	
<b>HULL</b>		1.025	<b>91,238.10</b>	<b>159.080f</b>	<b>0.091s</b>	<b>4.950</b>	<b>-9.801</b>
	<b>Righting Arms:</b>			<b>0.001</b>	<b>0.000s</b>		
Distances in METERS.							

18.06.08 11:54:11  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, 2 elipse, 3 stanje krcanja



Dijagram 7: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s tankom u obliku poluelipse na gornjem i donjem dijelu ( program GHS )



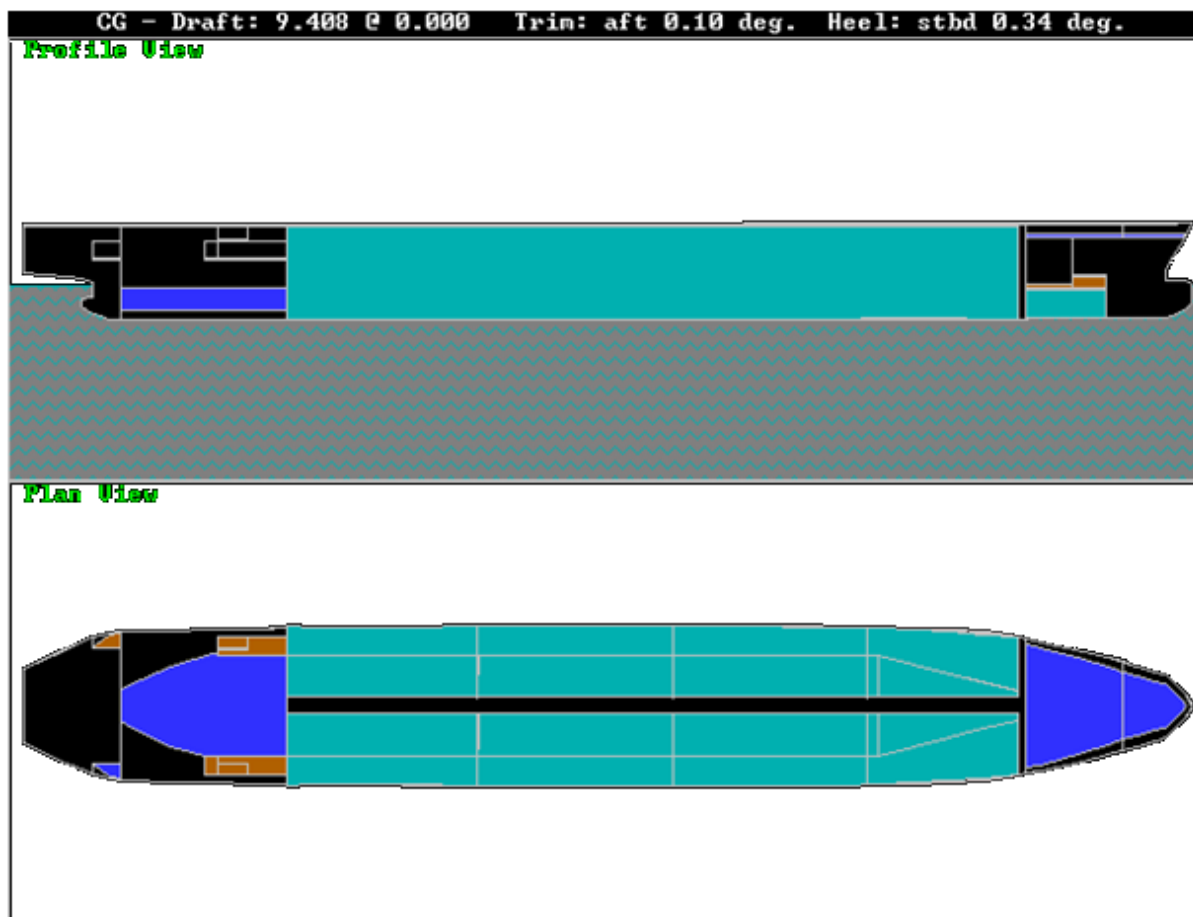
### 11.5.5. Četrto stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balasnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha (na kraju putovanja broda u balastu )

Na slici 54 su balastni tankovi obojeni u plavo.

gaz  $T = 9.408 \text{ m}$

trim  $t = 0.10^\circ \text{ aft (zatega)}$



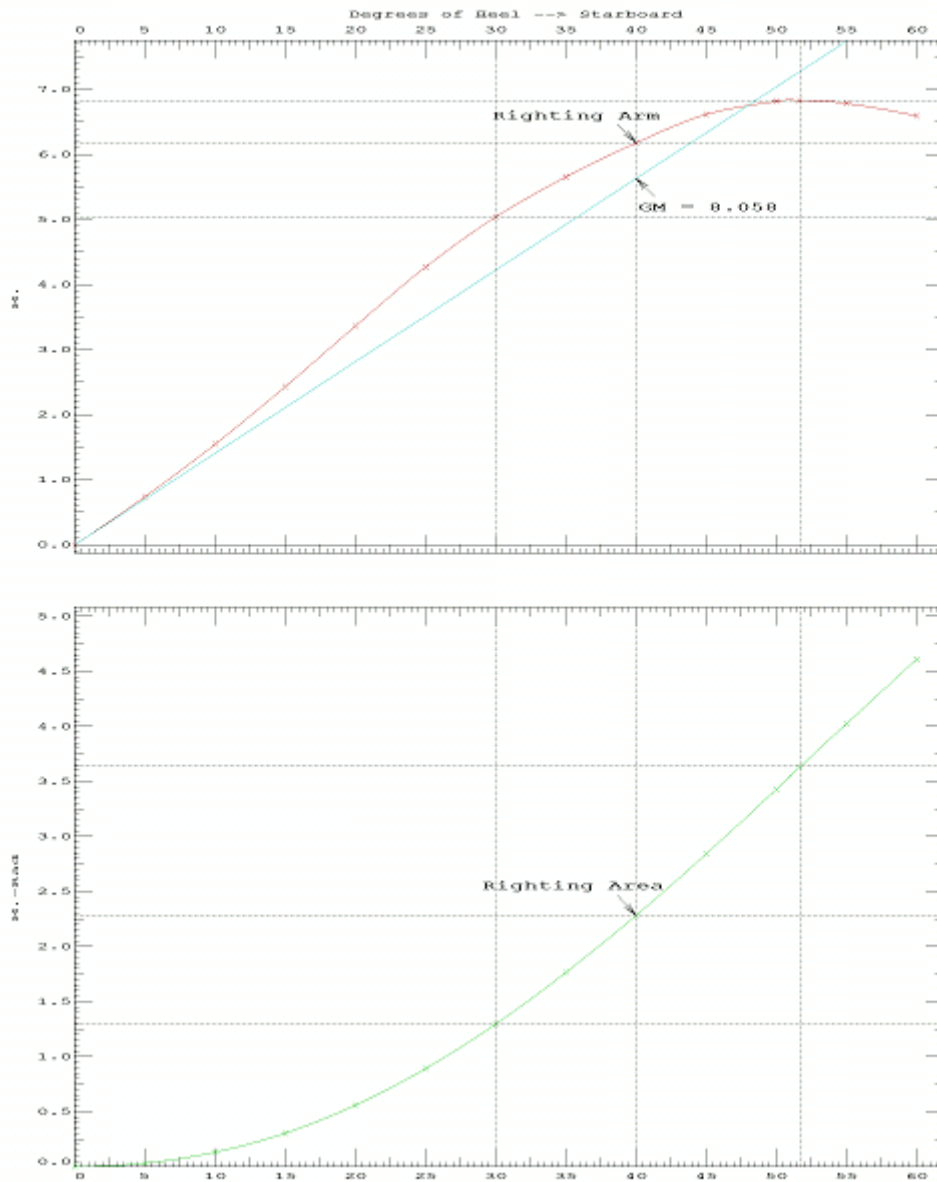
Slika 55: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4.stanje krcanja

Tabela 9: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS)

18.06.08 11:54:11  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNGtanker,2 ellipse,4.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 9.317 @ Origin							
Trim: Aft 0.06 deg., Heel: Stbd 0.03 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.95	280.582f	3.956p	4.581	-8.493
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.95	280.581f	3.958s	4.581	-8.487
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.479f	1.584p	8.503	-8.993
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.479f	1.587s	8.503	-8.991
GTSTANK01.C	0.300	1.000	853.59	283.117f	0.034s	23.201	-24.102
GTSTANK02.C	0.300	1.000	280.06	304.874f	0.010s	23.275	-24.247
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.490f	2.499p	9.038	-10.051
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.490f	2.501s	9.038	-10.049
MS02.C	0.150	1.000	5,495.66	48.446f	0.009s	6.020	-8.965
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.437f	16.566p	16.905	-17.234
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.437f	16.571s	16.905	-17.214
FW04.P	0.100	0.870	12.04	17.064f	17.503p	17.002	-17.358
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.065f	17.505s	17.002	-17.337
DW04.S	0.100	1.000	13.83	17.065f	17.505s	17.002	-17.337
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	44.997f	16.571s	16.905	-17.202
BO01.P	0.980	1.025	17,962.71	171.228f	18.383p	12.241	-26.280
BO01.S	0.980	1.025	17,962.71	171.223f	18.384s	12.241	-26.259
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.87	92.753f	8.030p	1.785	-3.601
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.87	92.753f	8.034s	1.785	-3.592
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.84	145.985f	8.097p	1.750	-3.657
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.84	145.985f	8.100s	1.750	-3.648
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.87	201.400f	8.095p	1.749	-3.717
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.87	201.400f	8.099s	1.749	-3.708
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.29	244.565f	6.247p	1.755	-3.762
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.29	244.561f	6.249s	1.754	-3.755
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	50.987f	17.440p	22.029	-22.321
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	50.987f	17.442s	22.029	-22.301
<b>Total Tanks</b>			<b>60,422.63</b>	<b>164.160f</b>	<b>0.009s</b>	<b>8.977</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>87,617.52</b>	<b>159.765f</b>	<b>0.006s</b>	<b>10.225</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	87,619.16	159.759f	0.009s	4.768	-9.316
	Righting Arms:			0.000	0.000		
Distances in METERS.							



Dijagram 8: Krivulje stabiliteta za četvrto stanje krcanja LNG broda s tankom u obliku poluelipse na gornjem i donjem dijelu ( program GHS )

## ***11.6. LNG tanker, poprečni presjek tanka kvadar sa oblim rubovima***

LNG tanker sa tankovima koji imaju visinu i dužinu isti kao tankovi prototipa s konvencionalnim membranskim tankovima. Razlika je vidljiva u obliku tanka koji ima oblik kvadra s zaobljenim rubovima. Radijus zaobljenosti pojedinog ruba se vidi na slici 55.

### ***11.6.1. Podaci o teretnim tankovima***

#### TANK 1

volumen (100%)	$V = 29\,232\text{ m}^3$
duljina	$L = 38\text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 13\%$

#### TANK 2,3 i 4

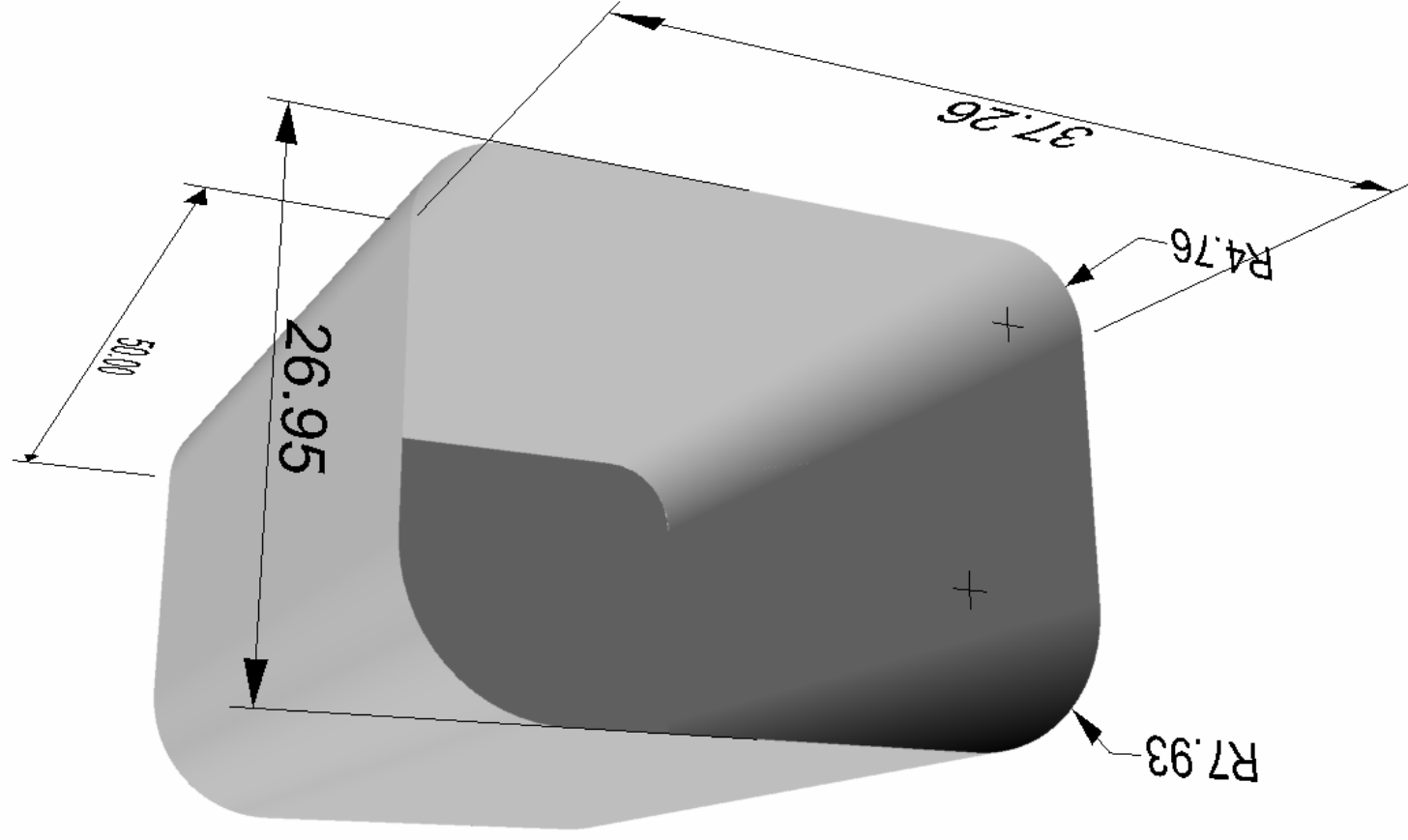
volumen (100%)	$V = 46\,834\text{ m}^3$
duljina	$L = 50\text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 17\%$

Razmak između rebara

teretnog prostora  $e = 0.955\text{ m}$

Debljina izolacije  $d = 0.545\text{ m}$

Tip izolacije No96



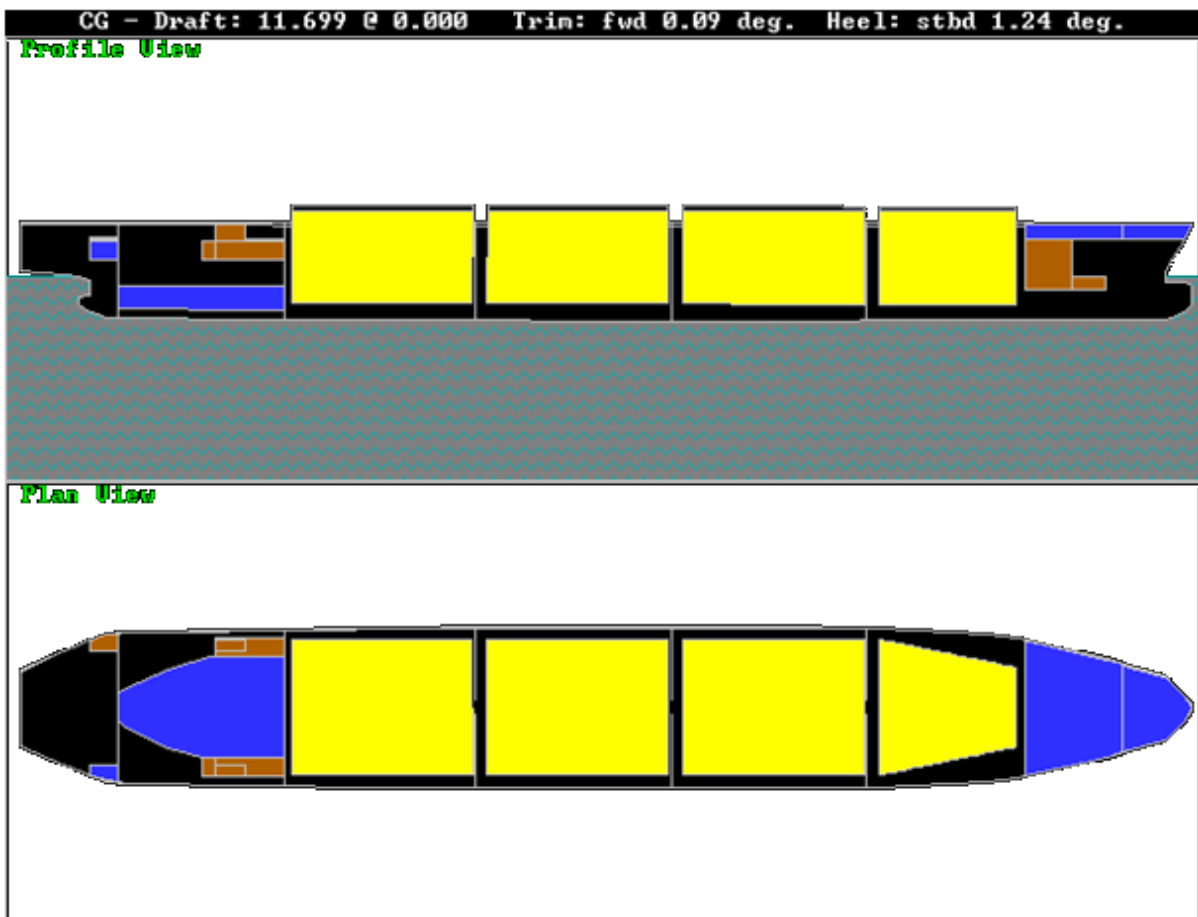
Slika 56: LNG tank u obliku kvadra sa zaobljenim rubovima

### 11.5.2. Prvo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha (slučaj na početku putovanja broda punog tereta)

Na slici 56 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz	T = 11.699 m
trim	t = 0.09° aft (zatega)



Slika 57: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1.stanje krcanja

Tabela 10: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS)

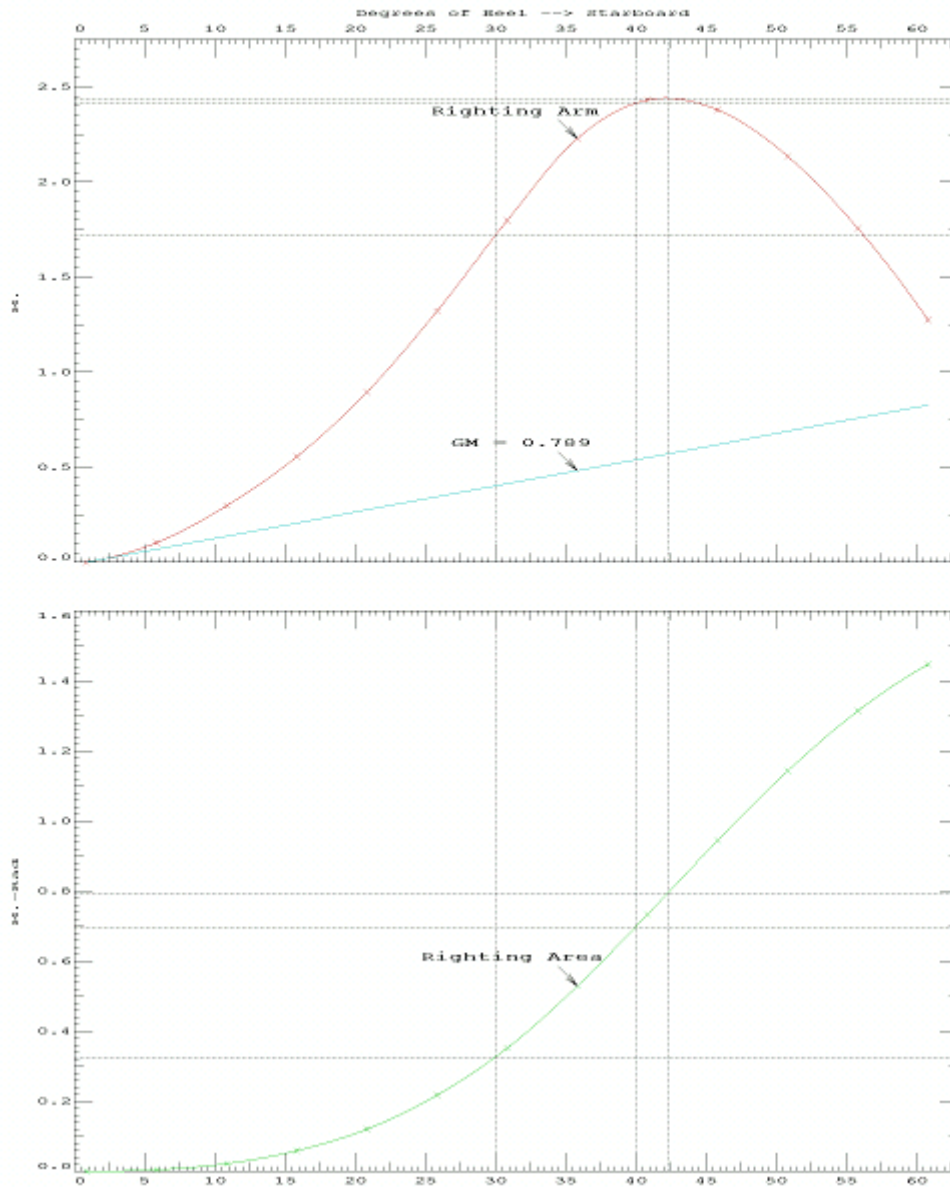
18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, oblo, 1. stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 11.619 @ Origin							
Trim: Fwd 0.16 deg., Heel: Stbd 0.85 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.505f	1.582p	10.072	-11.029
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.505f	1.589s	10.072	-10.982
GTSTANK01.C	0.250	1.000	711.34	283.330f	1.013s	23.110	-22.800
GTSTANK02.C	0.250	1.000	233.45	304.919f	0.274s	23.170	-22.851
MS01.C	0.050	1.000	58.96	295.387f	0.043s	1.406	-1.523
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.503f	2.498p	15.316	-21.561
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.503f	2.502s	15.316	-21.487
MS02.C	0.080	1.000	2,930.44	48.893f	0.221s	4.554	-6.200
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.517f	16.563p	19.173	-21.782
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.517f	16.575s	19.173	-21.290
FW04.P	0.980	1.000	135.56	16.579f	17.719p	19.415	-21.930
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.583f	17.729s	19.415	-21.399
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.001f	16.575s	19.173	-21.323
T4	0.980	0.500	14,616.48	248.188f	0.021s	17.416	-29.803
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	51.003f	17.438p	24.030	-26.371
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	51.003f	17.444s	24.030	-25.854
T1	0.980	0.500	23,417.03	93.617f	0.029s	17.363	-30.301
T2	0.980	0.500	23,417.03	147.517f	0.029s	17.363	-30.150
T3	0.980	0.500	23,417.04	201.518f	0.029s	17.363	-29.997
<b>Total Tanks</b>			<b>91,950.41</b>	<b>162.915f</b>	<b>0.057s</b>	<b>16.999</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>119,145.28</b>	<b>159.967f</b>	<b>0.044s</b>	<b>16.087</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	119,147.45	159.994f	0.189s	6.319	-11.617
	Righting Arms:			0.001	0.000s		
Distances in METERS.							

18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, uglato, 1. stanje krcanja



Dijagram 9: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima ( program GHS )



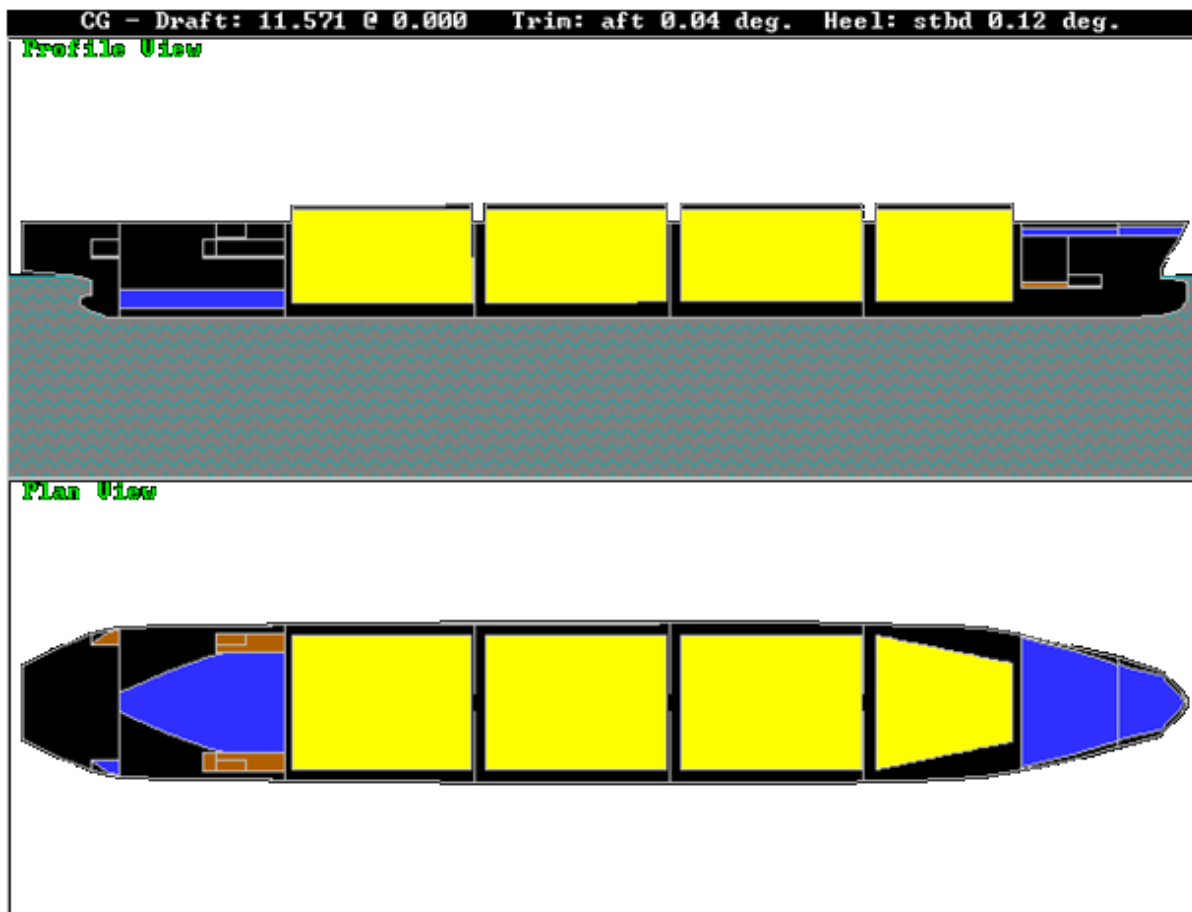
### 11.5.3. Drugo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( kraj putovanja broda punog tereta )

Na slici 57 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz  $T = 11.571 \text{ m}$

trim  $t = 0.04^\circ \text{ aft}$



Slika 58: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2.stanje krcanja

Tabela 11: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS)

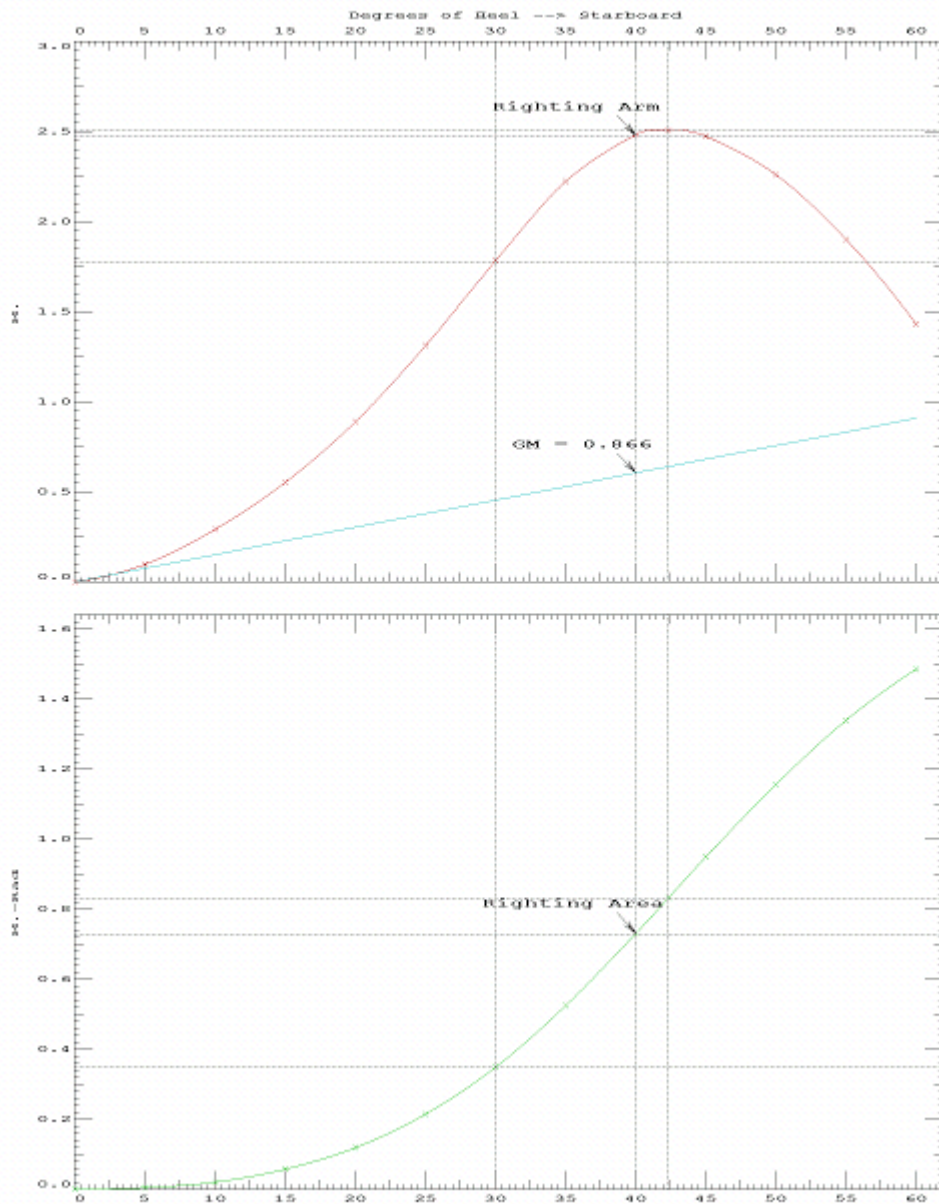
18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, oblo, 2. stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 11.550 @ Origin							
Trim: Fwd 0.09 deg., Heel: Stbd 0.08 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.530f	1.582p	8.503	-8.213
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.530f	1.589s	8.503	-8.209
GTSTANK01.C	0.250	1.000	711.34	283.259f	0.096s	23.102	-23.140
GTSTANK02.C	0.250	1.000	233.45	304.897f	0.026s	23.167	-23.217
MS01.C	0.050	1.000	58.96	295.385f	0.004s	1.406	-1.874
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.516f	2.498p	9.038	-9.303
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.516f	2.502s	9.038	-9.295
MS02.C	0.080	1.000	2,930.44	48.846f	0.021s	4.552	-6.261
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.595f	16.563p	16.905	-17.094
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.595f	16.574s	16.905	-17.047
FW04.P	0.100	1.000	13.83	17.076f	17.506p	17.002	-17.325
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.079f	17.511s	17.001	-17.275
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	45.004f	16.574s	16.905	-17.066
T4	0.980	0.500	14,616.50	248.184f	0.002s	17.416	-30.099
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	51.019f	17.439p	22.029	-22.198
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	51.019f	17.444s	22.029	-22.149
T1	0.980	0.500	23,417.05	93.610f	0.003s	17.363	-30.413
T2	0.980	0.500	23,417.06	147.510f	0.003s	17.363	-30.325
T3	0.980	0.500	23,417.06	201.510f	0.003s	17.363	-30.237
<b>Total Tanks</b>			<b>89,178.09</b>	<b>162.478f</b>	<b>0.006s</b>	<b>16.983</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>116,372.96</b>	<b>159.562f</b>	<b>0.004s</b>	<b>16.052</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	116,372.81	159.578f	0.018s	6.182	-11.550
	Righting Arms:			0.000	0.000		
Distances in METERS.							

18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, oblo, 2. stanje krcanja



Dijagram 10: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima ( program GHS )

### 11.5.4. Treće stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balastnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( početak putovanja broda u balastu )

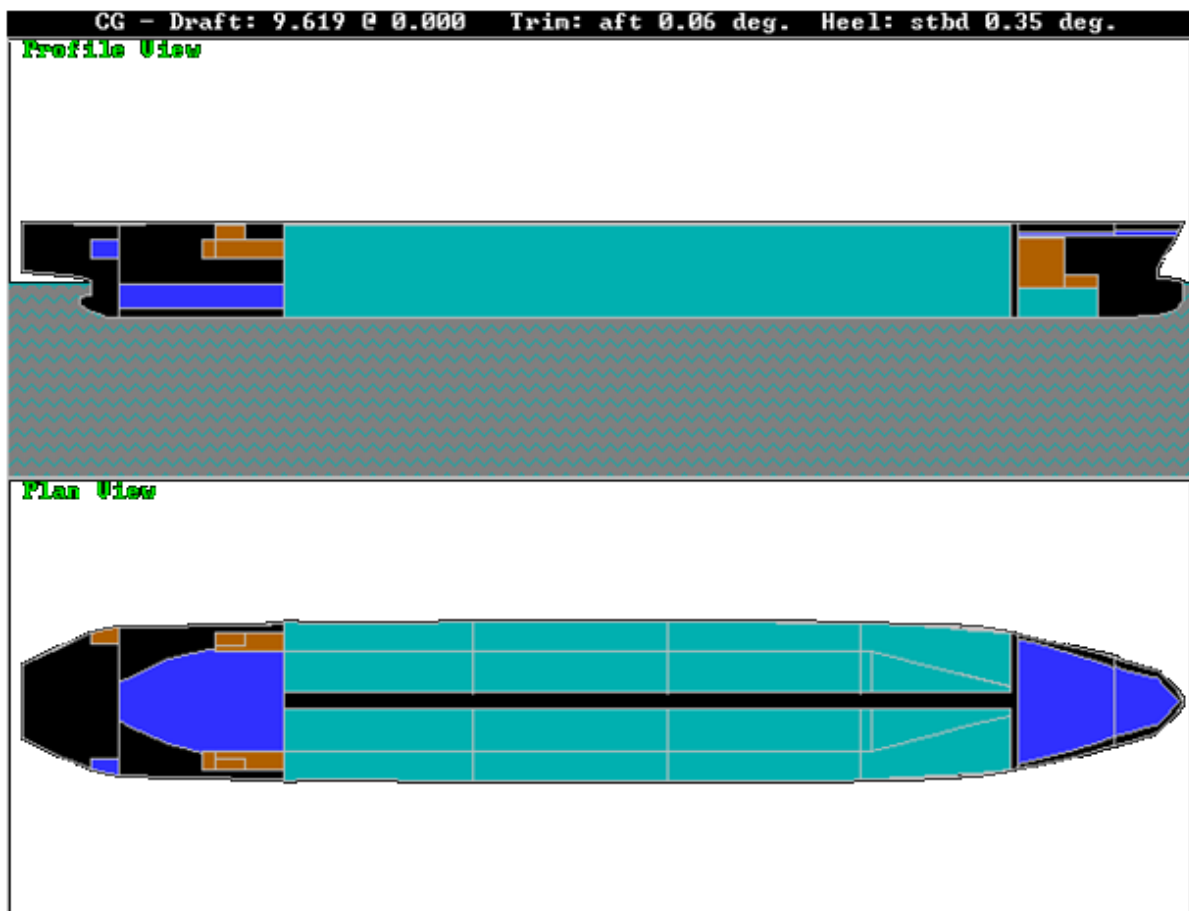
Na slici 58 su balastni tankovi obojeni u plavo.

gaz

$T = 9.619 \text{ m}$

trim

$t = 0.06^\circ \text{ aft (zatega)}$



Slika 59: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 3.stanje krcanja

Tabela 12: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS)

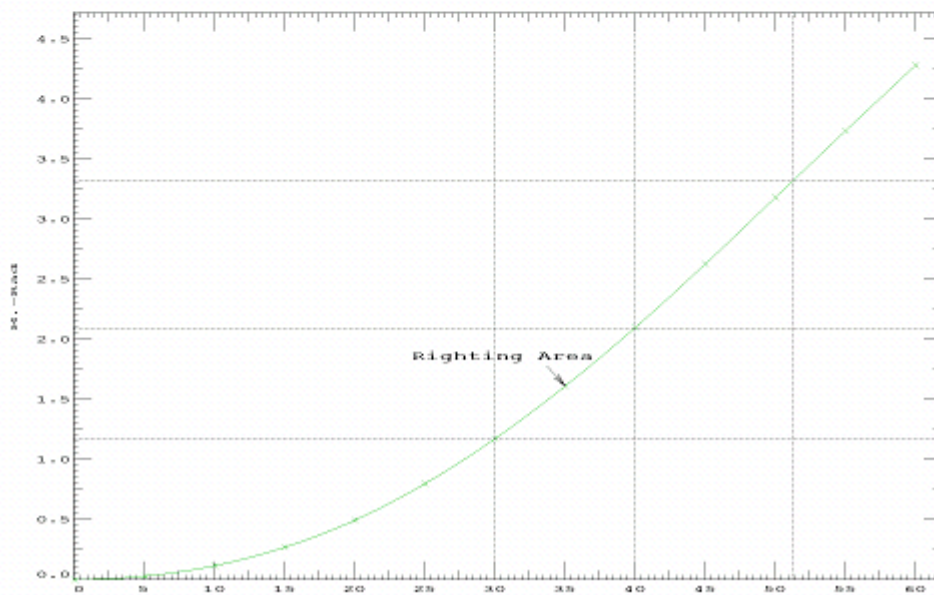
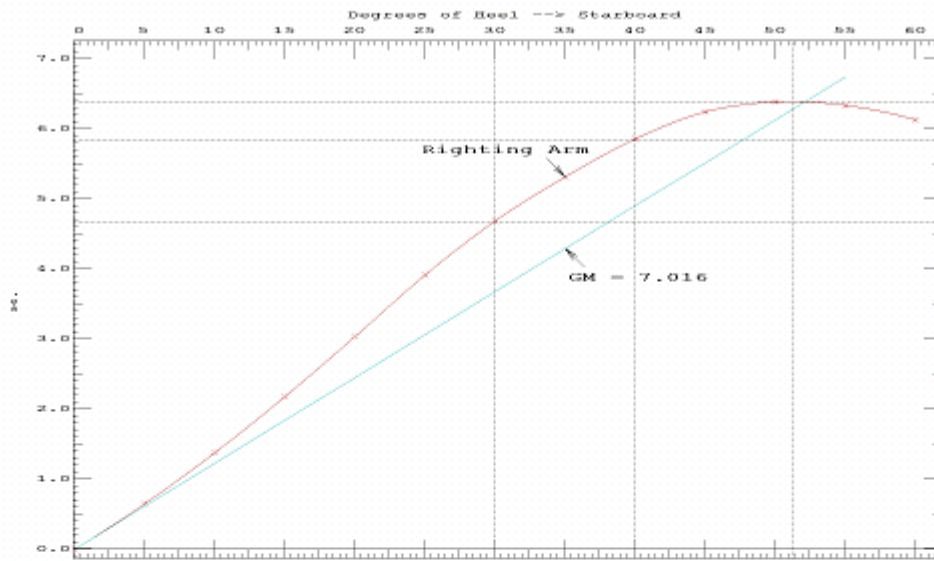
18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, oblo, 3. stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 9.891 @ Origin							
Trim: Aft 0.07 deg., Heel: Stbd 0.12 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.95	280.583f	3.954p	4.581	-8.528
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.95	280.579f	3.960s	4.581	-8.508
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.498f	1.585p	10.072	-12.162
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.498f	1.586s	10.072	-12.155
GTSTANK01.C	0.300	1.000	853.59	283.112f	0.125s	23.201	-24.129
GTSTANK02.C	0.300	1.000	280.06	304.873f	0.035s	23.275	-24.277
MS01.C	0.980	1.000	1,155.58	295.387f	0.005s	13.019	-22.689
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.499f	2.500p	15.316	-22.640
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.499f	2.500s	15.316	-22.629
MS02.C	0.205	1.000	7,509.12	47.673f	0.037s	7.022	-10.508
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.493f	16.568p	19.173	-21.800
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.493f	16.570s	19.173	-21.729
FW04.P	0.980	1.000	135.56	16.576f	17.723p	19.416	-21.771
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.577f	17.724s	19.416	-21.694
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.000f	16.570s	19.173	-21.715
BO01.P	0.980	1.025	17,962.72	171.207f	18.383p	12.241	-26.326
BO01.S	0.980	1.025	17,962.71	171.189f	18.385s	12.241	-26.248
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.87	92.746f	8.025p	1.785	-3.623
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.87	92.746f	8.039s	1.785	-3.588
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.84	145.979f	8.092p	1.750	-3.684
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.84	145.979f	8.105s	1.750	-3.650
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.87	201.393f	8.090p	1.749	-3.750
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.87	201.393f	8.104s	1.749	-3.715
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.29	244.568f	6.244p	1.755	-3.796
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.29	244.553f	6.253s	1.754	-3.769
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	50.998f	17.441p	24.030	-26.356
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	50.998f	17.442s	24.030	-26.281
<b>Total Tanks</b>			<b>66,352.04</b>	<b>163.380f</b>	<b>0.029s</b>	<b>9.427</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>93,546.93</b>	<b>159.490f</b>	<b>0.021s</b>	<b>10.466</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	93,550.27	159.484f	0.032s	5.064	-9.891
	Righting Arms:			0.000	0.000		
Distances in METERS.							

18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, oblo, 3. stanje krcanja



Dijagram 11: Krivulje stabiliteta za treće stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima ( program GHS )

#### 11.5.4. Četvrto stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balasnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha (na kraju putovanja broda u balastu )

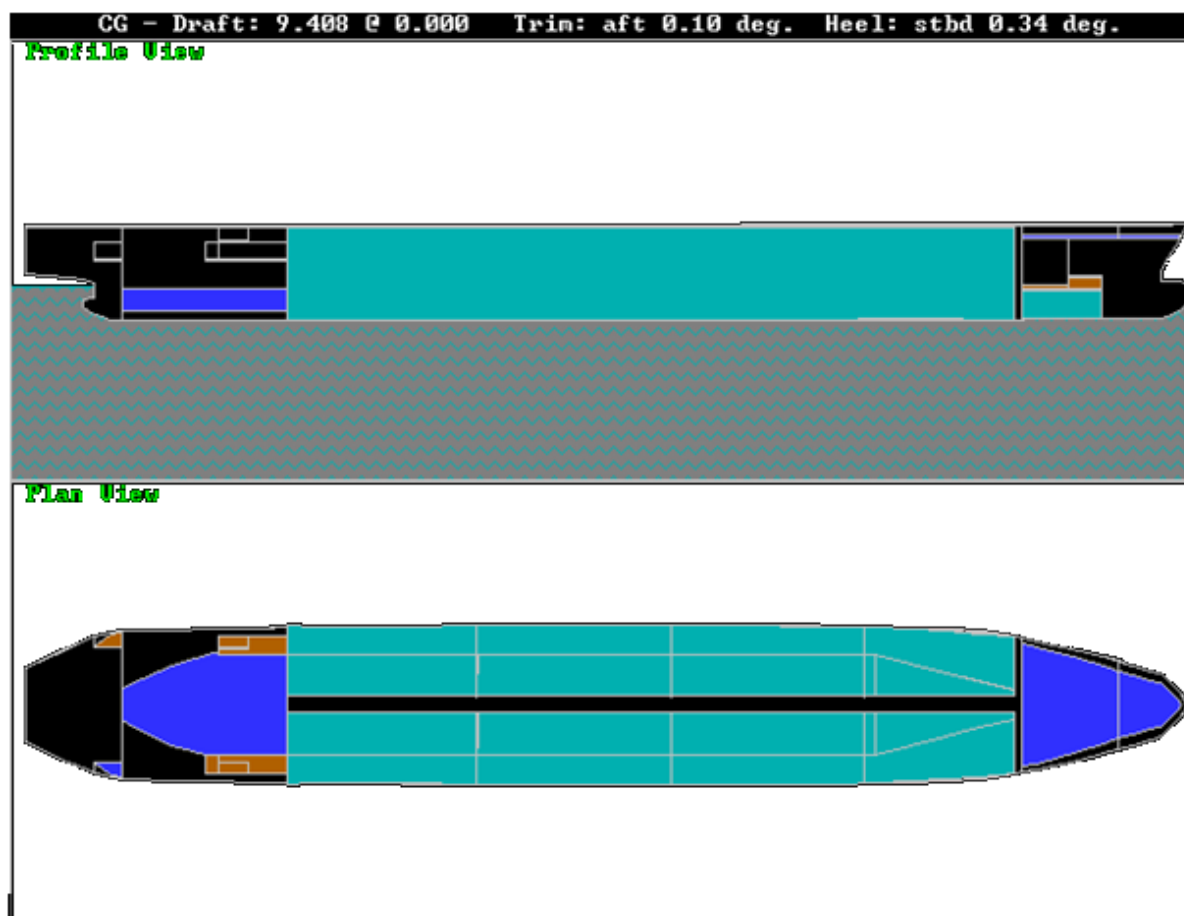
Na slici 59 su balasni tankovi obojeni u plavo.

gaz

T = 9.408 m

trim

t = 0.10° aft (zatega)



Slika 60: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4.stanje krcanja

Tabela 13: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS)

18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

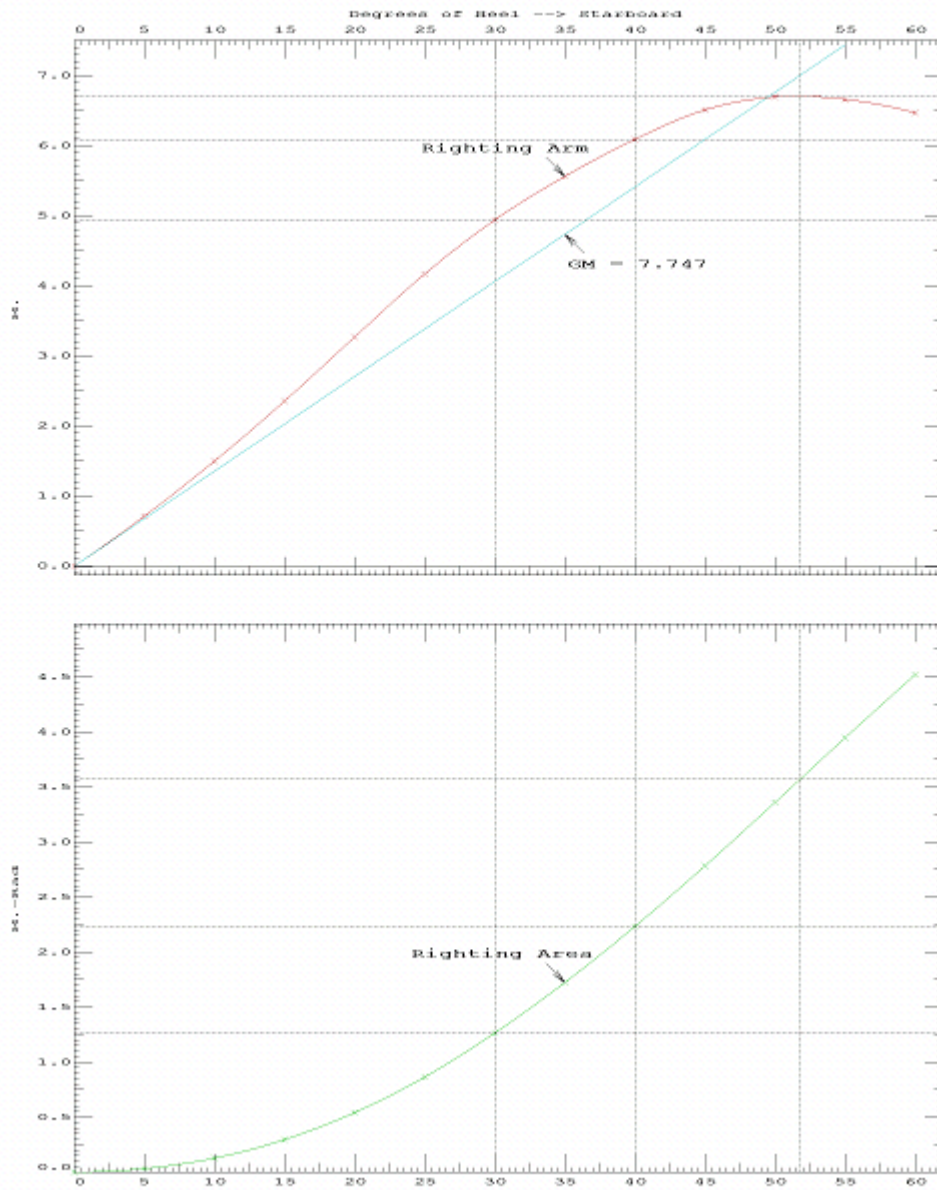
University of Zagreb  
LNG tanker,oblo,4.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 9.611 @ Origin							
Trim: Aft 0.11 deg., Heel: Stbd 0.01 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.95	280.577f	3.957p	4.581	-8.732
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.95	280.577f	3.958s	4.581	-8.730
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.463f	1.585p	8.503	-9.241
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.463f	1.586s	8.503	-9.240
GTSTANK01.C	0.300	1.000	853.59	283.074f	0.012s	23.201	-24.345
GTSTANK02.C	0.300	1.000	280.06	304.860f	0.003s	23.275	-24.510
MS01.C	0.500	1.000	589.48	295.376f	0.000	7.618	-14.608
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.481f	2.500p	9.038	-10.290
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.481f	2.500s	9.038	-10.289
MS02.C	0.180	1.000	6,593.59	48.034f	0.003s	6.584	-9.886
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.387f	16.568p	16.905	-17.276
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.387f	16.570s	16.905	-17.269
FW04.P	0.100	1.000	13.83	17.060f	17.503p	17.002	-17.366
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.060f	17.503s	17.002	-17.359
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	44.995f	16.570s	16.905	-17.247
BO01.P	0.980	1.025	17,962.71	170.989f	18.387p	12.241	-26.423
BO01.S	0.980	1.025	17,962.71	170.987f	18.387s	12.241	-26.415
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.87	92.694f	8.031p	1.786	-3.678
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.87	92.694f	8.032s	1.786	-3.674
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.84	145.926f	8.098p	1.750	-3.780
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.84	145.926f	8.099s	1.750	-3.777
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.87	201.334f	8.096p	1.749	-3.888
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.87	201.334f	8.098s	1.749	-3.885
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.29	244.539f	6.251p	1.754	-3.970
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.29	244.538f	6.252s	1.754	-3.967
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	50.977f	17.441p	22.029	-22.359
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	50.977f	17.441s	22.029	-22.352
<b>Total Tanks</b>			<b>62,098.01</b>	<b>163.192f</b>	<b>0.003s</b>	<b>8.970</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>89,292.89</b>	<b>159.175f</b>	<b>0.002s</b>	<b>10.197</b>	
			<b>Disp(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	89,300.48	159.178f	0.003s	4.853	-9.611
	Righting Arms:			0.014f	0.000		
Distances in METERS.							



18.06.08 14:38:17  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker, oblo, 4. stanje krcanja



Dijagram 12: Krivulje stabiliteta za četvrto stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom u obliku kvadra s oblim rubovima ( program GHS )

### ***11.7. Novi oblik membranskog tanka, donji dio tanka je sa zaobljenim rubovima, dok je gornji dio polucilindar***

Ovaj tip tanka je zadržao širinu i dužinu konvencionalnog tanka opisanog u točki 10.4. Razlika i kod ovog tipa tanka je u njegovom novom obliku. Također se gubi karakteristični poprečni presjek s uglatim rubovima, donji dio zadržava obli kao tank u točki 10.6, dok je gornji dio polucilindar radijusa  $R = 17$  m. Velika je razlika u visini. Upravo mu ta povećana dimenzija daje oko 40 % veći volumen, samim tim i veću težinu, što se pokazalo kao veliki problem po pitanju stabiliteta. Poprečni nagib broda je neprihvatljivo velik kod svih stanja krcanja broda s ovim tipom tanka. Trim je za 2 m veći nego kod ostalih promatranih brodova s tankovima manjeg volumena. Slike pokazuju brod s tankovima popunjenim 98 % i jasno se vidi njegov nepoželjan položaj. Ostale dimenzije tanka su vidljive na slici

#### ***11.7.1. Podaci o teretnim tankovima***

##### TANK 1

volumen (100%)	$V = 37\,408 \text{ m}^3$
duljina	$L = 38 \text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 13\%$

##### TANK 2,3 i 4

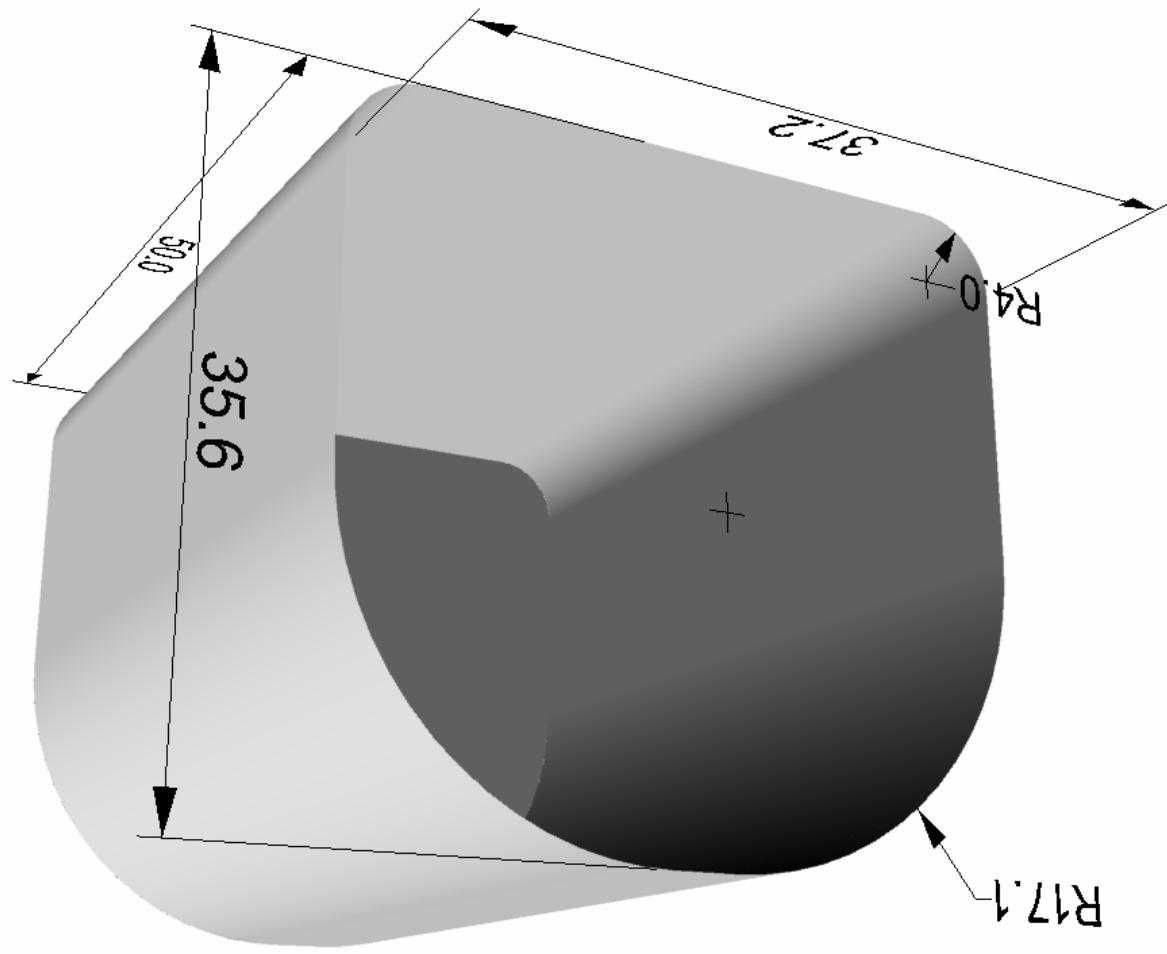
volumen (100%)	$V = 63\,722 \text{ m}^3$
duljina	$L = 50 \text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 17\%$

Razmak između rebara

teretnog prostora  $e = 0.955 \text{ m}$

Debljina izolacije  $d = 0.545 \text{ m}$

Tip izolacije No96



Slika 61: LNG tank, donji dio s oblim rubovima, gornji dio polucilindar

### 11.7.2. Prvo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha (slučaj na početku putovanja broda punog tereta)

Na slici 61 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz

$T = 13.507 \text{ m}$

trim

$t = 0.37^\circ \text{ fwd (pretega)}$



Slika 62: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 1.stanje krcanja

Tabela 14: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za prvo stanje krcanja (program GHS)

27.06.08 12:22:28  
GHS 11.00

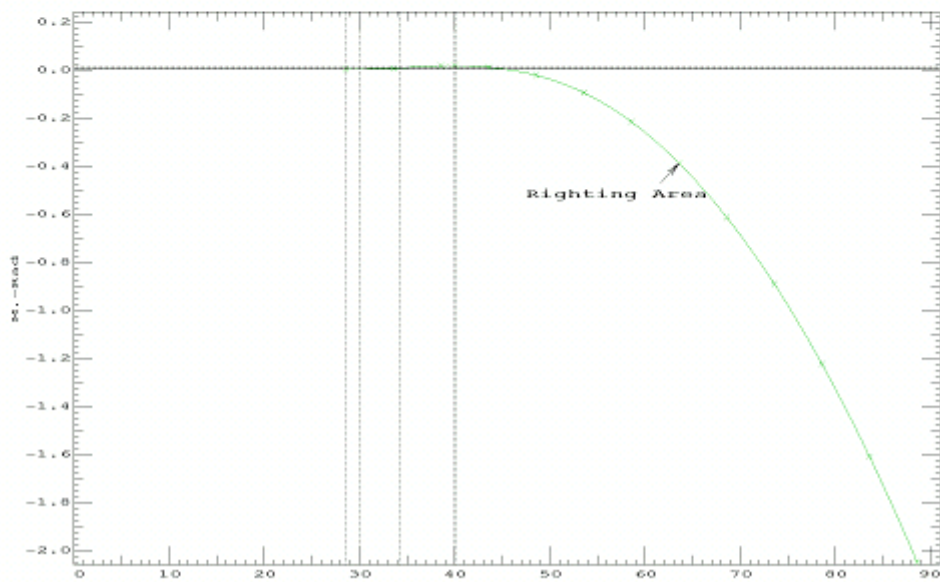
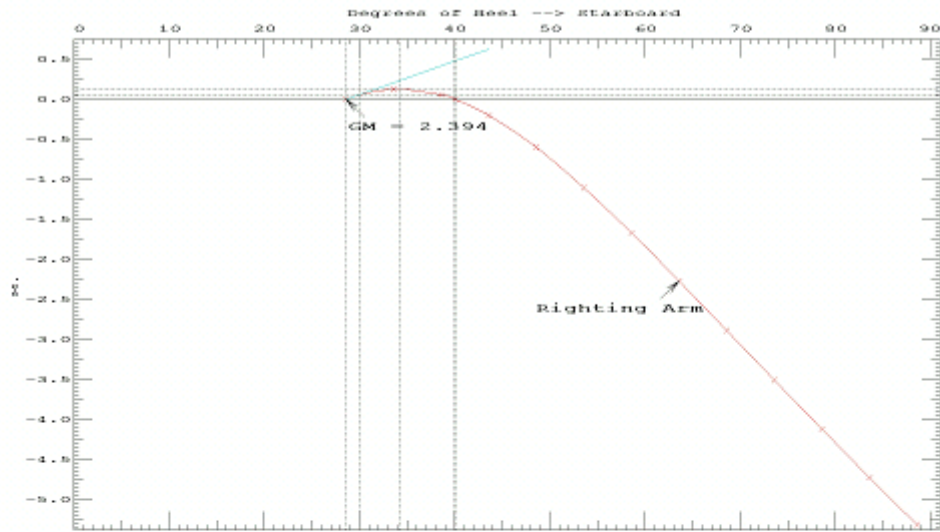
University of Zagreb  
LNG tanker,r17,1.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 13.508 @ Origin							
Trim: Fwd 0.37 deg., Heel: Stbd 28.58 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	130.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.504f	1.559p	10.074	-9.674
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.504f	1.612s	10.074	-8.157
GTSTANK01.C	0.980	1.000	2,788.14	283.449f	0.317s	24.508	-27.651
GTSTANK02.C	0.980	1.000	914.72	305.294f	0.189s	24.601	-24.851
MS01.C	0.100	1.000	117.94	295.385f	1.183s	2.568	-1.289
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.89	277.503f	2.464p	15.321	-19.358
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.89	277.503f	2.535s	15.321	-16.966
MS02.C	0.150	1.000	5,494.52	47.219f	8.785s	8.446	-5.508
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.22	56.512f	16.528p	19.177	-27.233
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.22	56.512f	16.610s	19.177	-11.378
FW04.P	0.980	0.870	117.93	16.555f	17.688p	19.422	-28.079
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.586f	17.758s	19.418	-10.912
DW04.S	0.980	1.000	135.56	16.586f	17.758s	19.418	-10.912
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.000f	16.610s	19.177	-11.451
T4	0.980	0.500	18,704.50	247.803f	0.172s	20.843	-34.026
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	51.003f	17.416p	24.033	-31.423
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	51.003f	17.466s	24.033	-14.734
T1	0.980	0.500	31,861.93	93.677f	0.222s	20.643	-35.928
T2	0.980	0.500	31,861.95	147.517f	0.222s	20.644	-35.584
T3	0.980	0.500	31,861.95	201.518f	0.222s	20.644	-35.238
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
<b>Total Tanks</b>			<b>126,872.08</b>	<b>162.840f</b>	<b>0.616s</b>	<b>20.149</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>154,066.97</b>	<b>157.043f</b>	<b>0.507s</b>	<b>18.887</b>	
			Displ(MT)	LCB	TCB	VCB	
HULL		1.025	154,068.77	157.111f	5.637s	9.472	-11.861
	Righting Arms:			0.001	0.000s		

Distances in METERS.

27.06.08 12:22:28  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker,r17,1.stanje



Dijagram 13: Krivulje stabiliteta za prvo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblikom donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS)

### 11.7.3. Drugo stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena teretnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zalliha (slučaj na kraju putovanja broda punog tereta)

Na slici 62 su teretni tankovi obojeni u žuto.

gaz

$T = 13.507 \text{ m}$

trim

$t = 0.37^\circ \text{ fwd (pretega)}$



Slika 63: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2.stanje krcanja

Tabela 15: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za drugo stanje krcanja (program GHS)

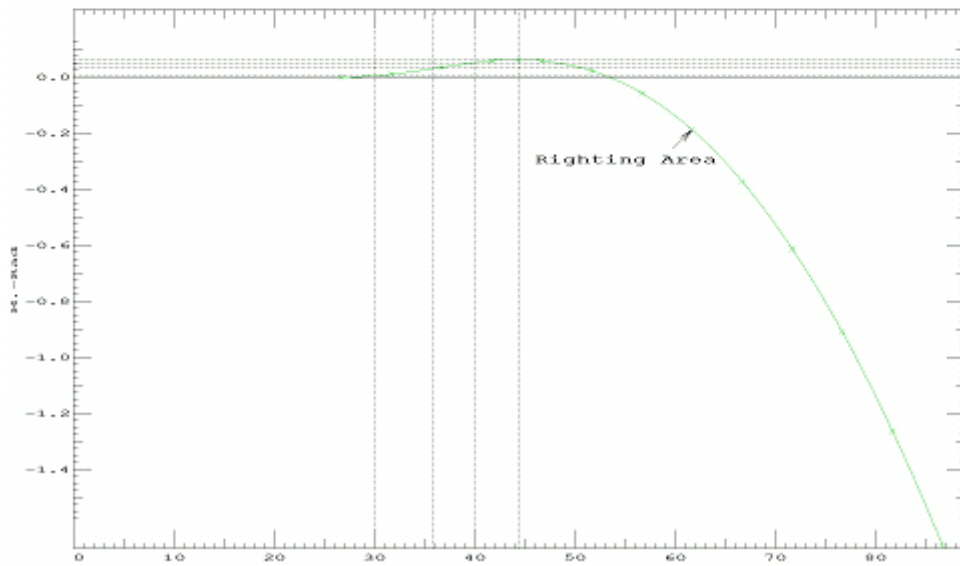
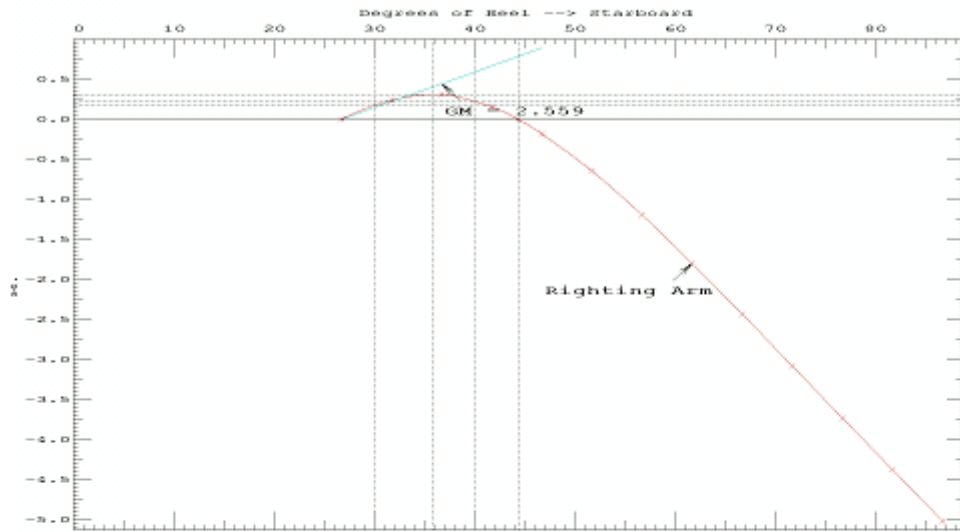
27.06.08 10:31:22  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker,r17,2.stanje krcanja

<b>WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS</b>							
Baseline draft: 12.478 @ Origin							
Trim: Fwd 0.51 deg., Heel: Stbd 26.77 deg.							
<b>Part</b>			<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	
<b>WEIGHT</b>			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	<b>Load</b>	<b>SpGr</b>	<b>Weight(MT)</b>	<b>LCG</b>	<b>TCG</b>	<b>VCG</b>	<b>RefHt</b>
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.73	288.625f	0.707p	8.681	-5.837
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.73	288.625f	2.464s	8.681	-4.409
GTSTANK01.C	0.100	1.000	284.54	279.681f	12.967s	23.982	-14.124
GTSTANK02.C	0.100	1.000	93.34	302.955f	6.829s	23.818	-16.175
MS01.C	0.100	1.000	117.93	295.388f	1.107s	2.528	-0.651
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.598f	1.763p	9.224	-7.380
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.598f	3.237s	9.224	-5.128
MS02.C	0.100	1.000	3,664.14	48.905f	8.608s	7.282	-4.353
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.872f	15.169p	17.181	-22.145
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.872f	17.969s	17.181	-7.219
FW04.P	0.100	0.870	12.06	16.694f	16.705p	17.210	-23.197
FW04.S	0.100	1.000	13.84	17.581f	18.551s	17.241	-7.324
DW04.S	0.100	1.000	13.84	17.581f	18.551s	17.241	-7.324
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.70	45.016f	17.969s	17.181	-7.323
T4	0.980	0.500	18,704.64	247.799f	0.164s	20.838	-33.761
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	51.087f	16.652p	22.204	-27.231
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	51.087f	18.230s	22.204	-11.520
T1	0.980	0.500	31,861.94	93.684f	0.213s	20.638	-35.947
T2	0.980	0.500	31,861.93	147.524f	0.213s	20.639	-35.472
T3	0.980	0.500	31,861.95	201.524f	0.213s	20.639	-34.995
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
<b>Total Tanks</b>			<b>118,838.77</b>	<b>160.949f</b>	<b>0.506s</b>	<b>20.227</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>146,033.66</b>	<b>158.910f</b>	<b>0.412s</b>	<b>18.881</b>	
			Displ(MT)	LCB	TCB	VCB	
HULL		1.025	146,014.81	159.009f	5.425s	8.945	-11.140
	Righting Arms:			0.001	0.000s		

Distances in METERS.





Dijagram 14: Krivulje stabiliteta za drugo stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblikom donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS)

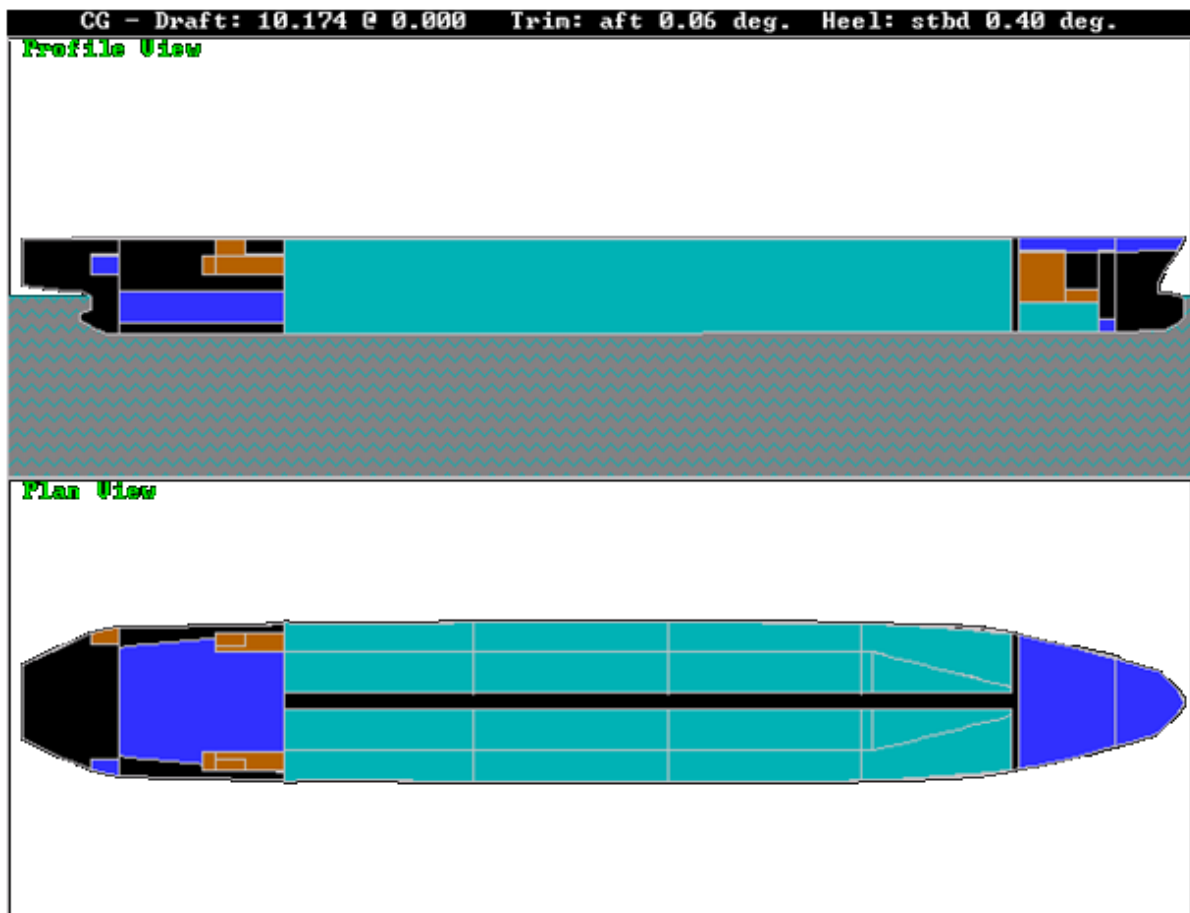
### 11.7.4. Treće stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balastnih tankova i 98 % popunjenosti volumena tankova zaliha ( početak putovanja broda u balastu )

Na slici 63 su balastni tankovi obojeni u plavo.

gaz  $T = 10.174 \text{ m}$

trim  $t = 0.06^\circ \text{ aft (zatega)}$



Slika 64: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 2.stanje krcanja

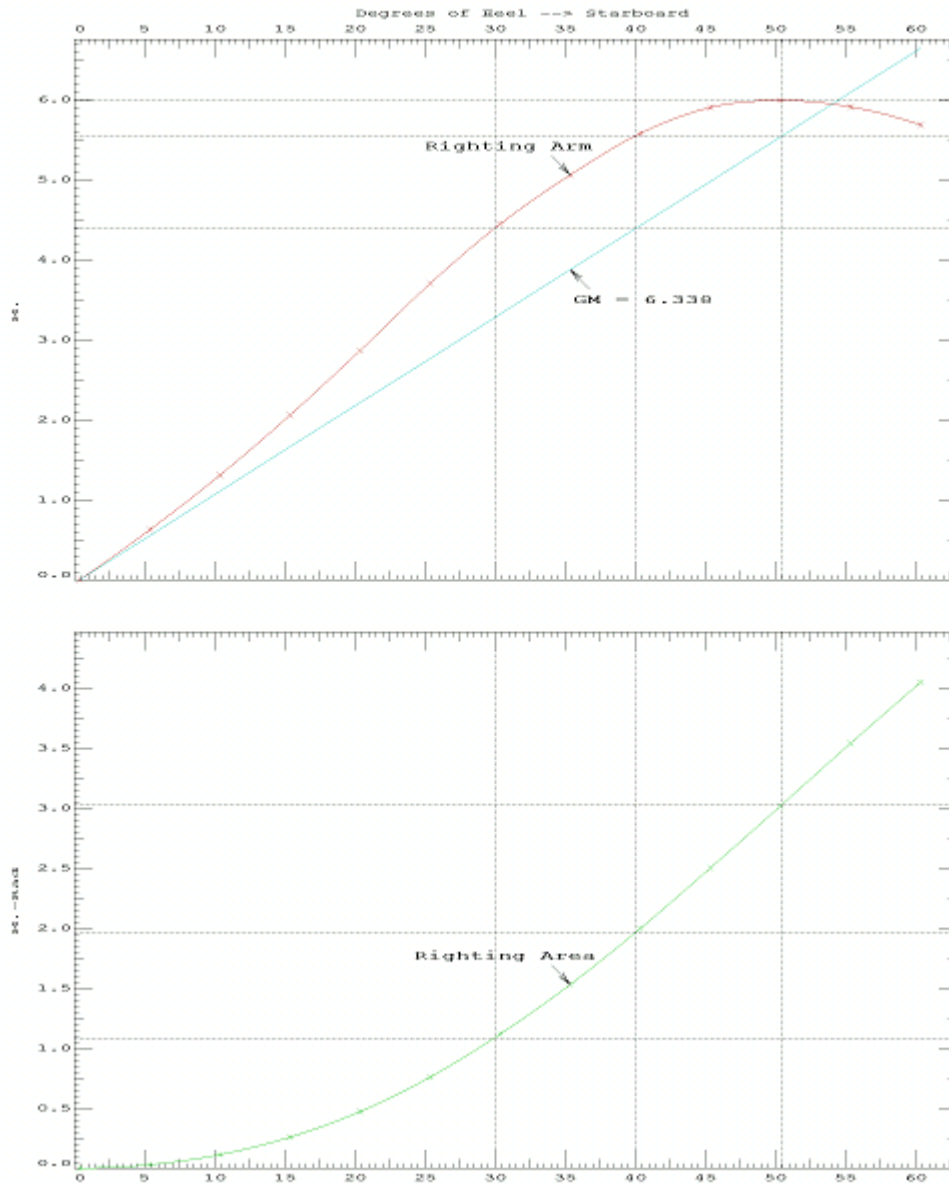
Tabela 16: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za treće stanje krcanja (program GHS)

27.06.08 10:35:11  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker,r17,3.stanje krcanja

WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS							
Baseline draft: 10.175 @ Origin							
Trim: Aft 0.06 deg., Heel: Stbd 0.40 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.77	280.588f	3.948p	4.581	-8.501
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.76	280.576f	3.966s	4.580	-8.435
DOTANK02.P	0.980	0.870	85.47	288.498f	1.584p	10.072	-12.119
DOTANK02.S	0.980	0.870	85.47	288.498f	1.587s	10.072	-12.097
GTSTANK01.C	0.980	1.000	2,788.27	283.311f	0.153s	24.496	-26.571
GTSTANK02.C	0.980	1.000	914.77	305.215f	0.074s	24.592	-26.597
MS01.C	0.100	1.000	117.92	295.392f	0.017s	2.259	-4.125
DOTANK01.P	0.980	0.870	778.93	277.499f	2.499p	15.316	-22.603
DOTANK01.S	0.980	0.870	778.93	277.499f	2.501s	15.316	-22.568
MS02.C	0.250	1.000	9,159.10	47.048f	0.125s	7.748	-11.590
DOTANK04.P	0.980	0.870	404.24	56.494f	16.566p	19.173	-21.871
DOTANK04.S	0.980	0.870	404.24	56.494f	16.572s	19.173	-21.637
FW04.P	0.980	0.870	117.93	16.576f	17.721p	19.416	-21.855
FW04.S	0.980	1.000	135.56	16.577f	17.726s	19.415	-21.603
DW04.S	0.980	1.000	135.56	16.577f	17.726s	19.415	-21.603
FOTANK01.S	0.980	0.870	85.10	45.000f	16.572s	19.173	-21.626
BO01.P	0.980	1.025	17,980.95	171.502f	18.384p	12.240	-26.384
BO01.S	0.980	1.025	17,980.93	171.444f	18.390s	12.240	-26.128
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.87	92.758f	8.009p	1.785	-3.646
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.87	92.758f	8.054s	1.785	-3.532
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.84	145.991f	8.076p	1.750	-3.698
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.84	145.991f	8.120s	1.750	-3.584
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.87	201.406f	8.075p	1.749	-3.754
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.87	201.406f	8.119s	1.749	-3.640
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.30	244.591f	6.233p	1.755	-3.784
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.30	244.540f	6.262s	1.754	-3.695
DOTANK05.P	0.980	0.870	96.97	50.999f	17.440p	24.030	-26.432
DOTANK05.S	0.980	0.870	96.97	50.999f	17.442s	24.030	-26.187
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
<b>Total Tanks</b>			<b>69,687.78</b>	<b>163.117f</b>	<b>0.089s</b>	<b>9.989</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>96,882.66</b>	<b>159.435f</b>	<b>0.064s</b>	<b>10.834</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	96,889.27	159.429f	0.104s	5.230	-10.175
		Righting Arms:		0.001a	0.000s		

Distances in METERS.



Dijagram 15: Krivulje stabiliteta za treće stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblikom donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS)

### 11.7.5. Četvrto stanje krcanja

98 % popunjenosti volumena balasnih tankova i 10 % popunjenosti volumena tankova zaliha (na kraju putovanja broda u balastu )

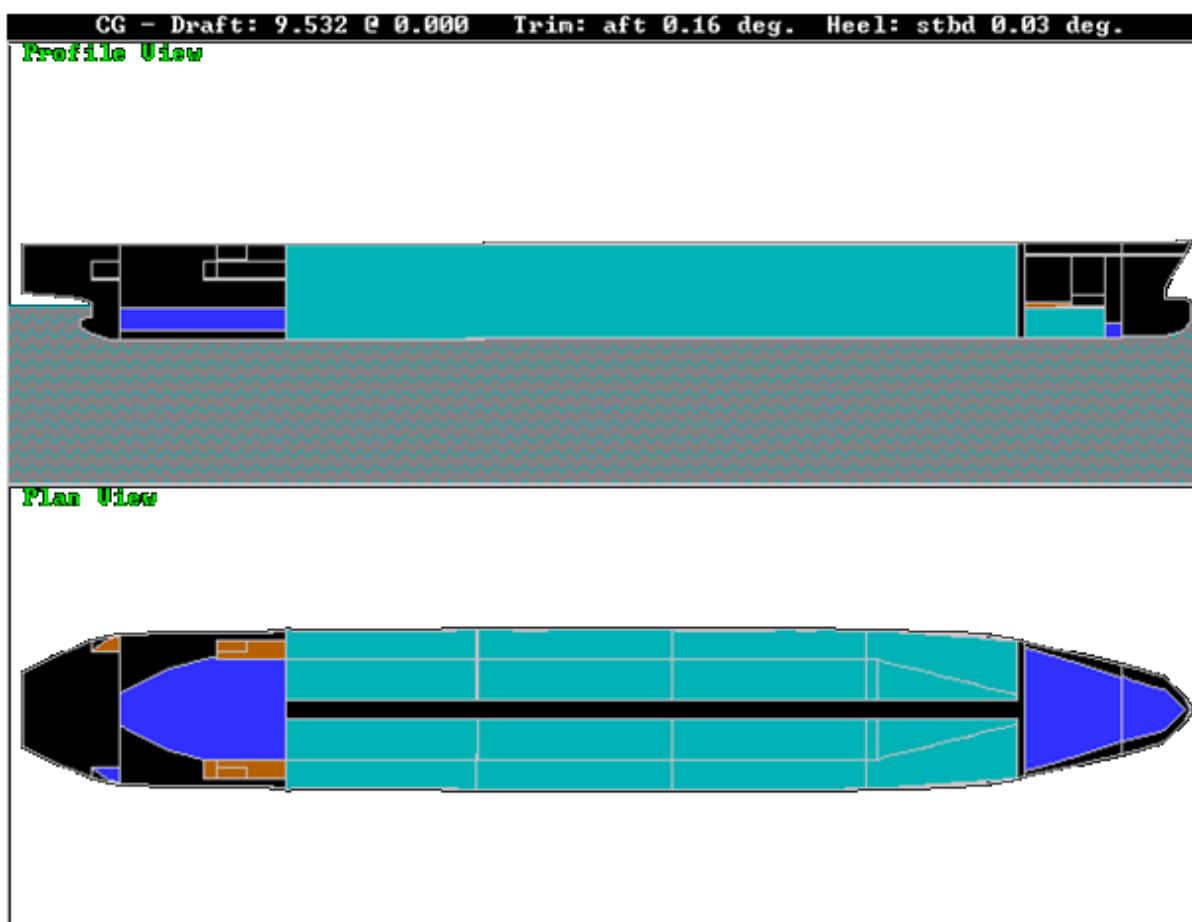
Na slici 64 su balasni tankovi obojeni u plavo.

gaz

$T = 9.532 \text{ m}$

trim

$t = 0.16^\circ \text{ aft (zatega)}$



Slika 65: Prikaz broda u programu GHS, popunjenost tankova karakteristična za 4.stanje krcanja

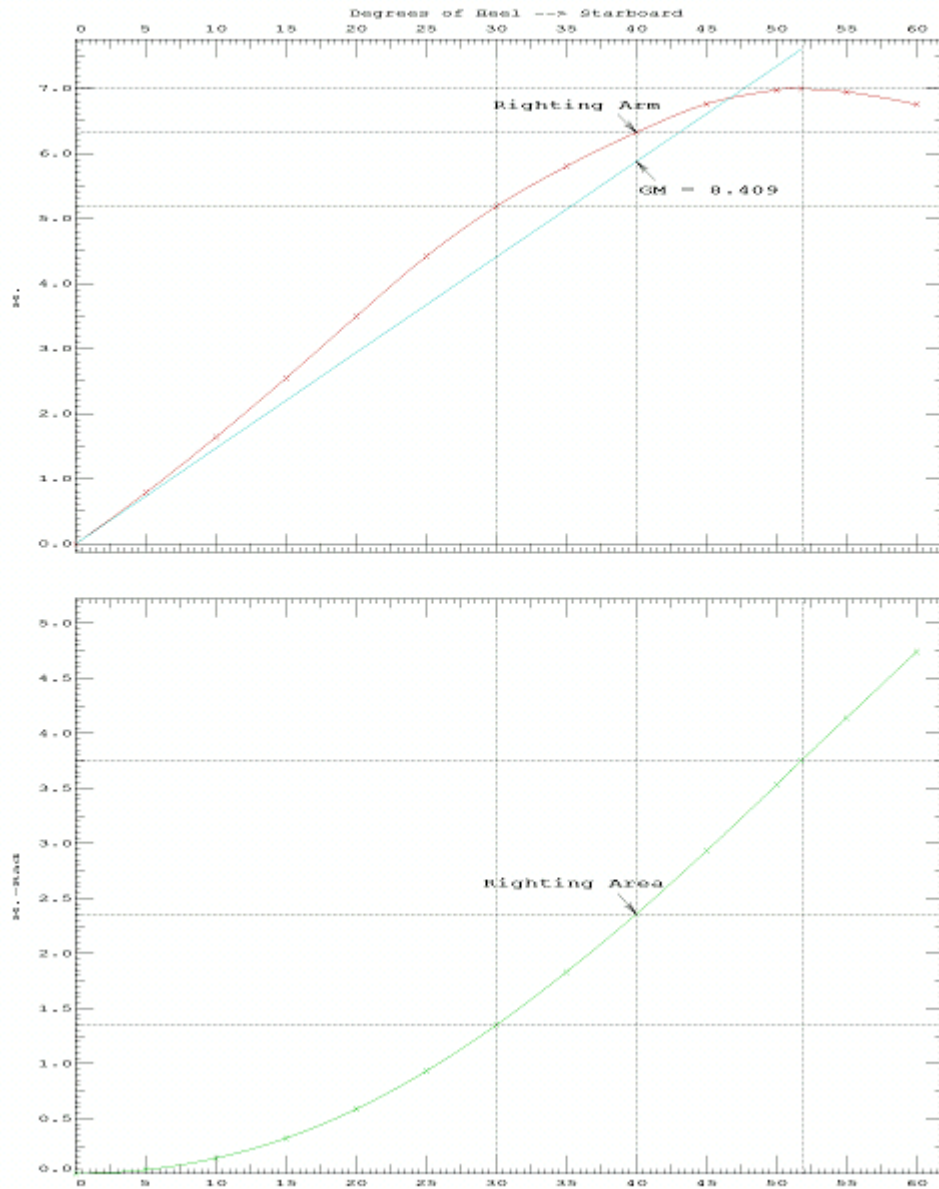
Tabela 17: Popunjenost, gustoća tereta, težina i težište svakog pojedinog tanka te cijelog broda, karakteristično za četvrto stanje krcanja (program GHS)

27.06.08 10:39:02  
GHS 11.00

University of Zagreb  
LNG tanker,r17,4.stanje krcanja

WEIGHT and DISPLACEMENT STATUS							
Baseline draft: 9.533 @ Origin							
Trim: Aft 0.16 deg., Heel: Stbd 0.03 deg.							
Part			Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	
WEIGHT			27,194.88	150.000f	0.000	13.000	
	Load	SpGr	Weight(MT)	LCG	TCG	VCG	RefHt
WBTANK05.P	0.980	1.025	1,305.95	280.572f	3.958p	4.581	-8.978
WBTANK05.S	0.980	1.025	1,305.95	280.571f	3.959s	4.580	-8.972
DOTANK02.P	0.100	0.870	8.72	288.446f	1.584p	8.503	-9.492
DOTANK02.S	0.100	0.870	8.72	288.446f	1.587s	8.503	-9.490
GTSTANK01.C	0.100	1.000	284.66	282.726f	0.090s	22.799	-23.797
GTSTANK02.C	0.100	1.000	93.34	304.671f	0.022s	22.829	-23.915
MS01.C	0.100	1.000	117.92	295.391f	0.001s	2.259	-4.658
DOTANK01.P	0.100	0.870	79.48	277.472f	2.499p	9.038	-10.532
DOTANK01.S	0.100	0.870	79.48	277.472f	2.501s	9.038	-10.529
MS02.C	0.150	1.000	5,495.66	48.392f	0.008s	6.021	-9.047
DOTANK04.P	0.100	0.870	41.25	56.336f	16.567p	16.905	-17.331
DOTANK04.S	0.100	0.870	41.25	56.336f	16.571s	16.905	-17.312
FW04.P	0.100	0.870	12.04	17.055f	17.501p	17.003	-17.387
FW04.S	0.100	1.000	13.83	17.056f	17.503s	17.003	-17.367
DW04.S	0.100	1.000	13.83	17.056f	17.503s	17.003	-17.367
FOTANK01.S	0.100	0.870	8.68	44.993f	16.571s	16.905	-17.280
BO01.P	0.980	1.025	17,986.69	170.988f	18.394p	12.245	-26.585
BO01.S	0.980	1.025	17,986.81	170.984f	18.394s	12.245	-26.564
WBTANK01.P	0.980	1.025	2,083.81	92.635f	8.030p	1.786	-3.761
WBTANK01.S	0.980	1.025	2,083.81	92.635f	8.034s	1.786	-3.752
WBTANK02.P	0.980	1.025	2,169.66	145.867f	8.097p	1.750	-3.910
WBTANK02.S	0.980	1.025	2,169.66	145.867f	8.100s	1.750	-3.901
WBTANK03.P	0.980	1.025	2,291.64	201.269f	8.095p	1.749	-4.066
WBTANK03.S	0.980	1.025	2,291.64	201.269f	8.099s	1.749	-4.057
WBTANK04.P	0.980	1.025	888.30	244.516f	6.253p	1.754	-4.184
WBTANK04.S	0.980	1.025	888.30	244.512f	6.255s	1.754	-4.177
DOTANK05.P	0.100	0.870	9.90	50.967f	17.440p	22.029	-22.409
DOTANK05.S	0.100	0.870	9.90	50.967f	17.442s	22.029	-22.389
P1.P	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004p	17.708	
P1.S	1.000	1.025	4.33	20.006f	9.004s	17.708	
P2.P	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660p	14.339	
P2.S	1.000	1.025	6.40	65.993f	9.660s	14.339	
P3.P	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140p	13.290	
P3.S	1.000	1.025	6.78	118.993f	12.140s	13.290	
P4.P	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137p	13.265	
P4.S	1.000	1.025	6.64	172.994f	12.137s	13.265	
P5.P	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690p	13.599	
P5.S	1.000	1.025	6.44	226.994f	11.690s	13.599	
<b>Total Tanks</b>			<b>59,832.07</b>	<b>162.674f</b>	<b>0.009s</b>	<b>8.786</b>	
<b>Total Weight</b>			<b>87,026.95</b>	<b>158.713f</b>	<b>0.006s</b>	<b>10.103</b>	
			<b>Displ(MT)</b>	<b>LCB</b>	<b>TCB</b>	<b>VCB</b>	
HULL		1.025	87,033.84	158.698f	0.009s	4.741	-9.533
	Righting Arms:			0.001	0.000		
Distances in METERS.							

### LNG tanker, r17,4, stanje krcanja



Dijagram 16: Krivulje stabiliteta za četvrto stanje krcanja LNG broda s membranskim tankom s oblim donjim dijelom i gornjim dijelom u obliku polucilindra (program GHS)

### ***11.8. LNG tanker, poprečni presjek tanka s donjim konvencionalnim uglatim dijelom, a, gornjim u obliku poluelipse***

LNG tanker sa tankovima koji imaju dužinu i širinu istu kao i konvencionalni membranski tankovi prototipa. Razlika je u tome što je donji dio tanka standardnog, konvencionalnog uglatog oblika, dok je gornji dio poprečnog presjeka u obliku poluelipse.

Brod s ovi tipom tanka ima gotovo jednaku iskoristivost kao i brod s konvencionalnim oblikom membranskog tanka opisanog u točki 10.5. ovog diplomskog rada.

Novost je povoljan gornji dio po pitanju problematike pojave sloshinga.

#### ***11.8.1 Kratki tehnički opis***

Jednovijčani, dieselmotorni LNG tanker sa bulbom na pramcu i zrcalnom krmom te četiri teretna tanka.

Glavni odjeljci:

- pramčani pik
- teretni prostor (četiri tanka)
- dvodno, dvobok
- strojarnica
- krmeni pik

Dvodno je izvedeno od pregrade pramčanog pika do pregrade krmenog pika.

Kao balastni tankovi koristi se devet tankova u dvodnu (lijevo i desno) uzvojni tankovi (lijevo i desno) i bočni potpalubni tankovi (lijevo i desno).

Glavni parametri broda:

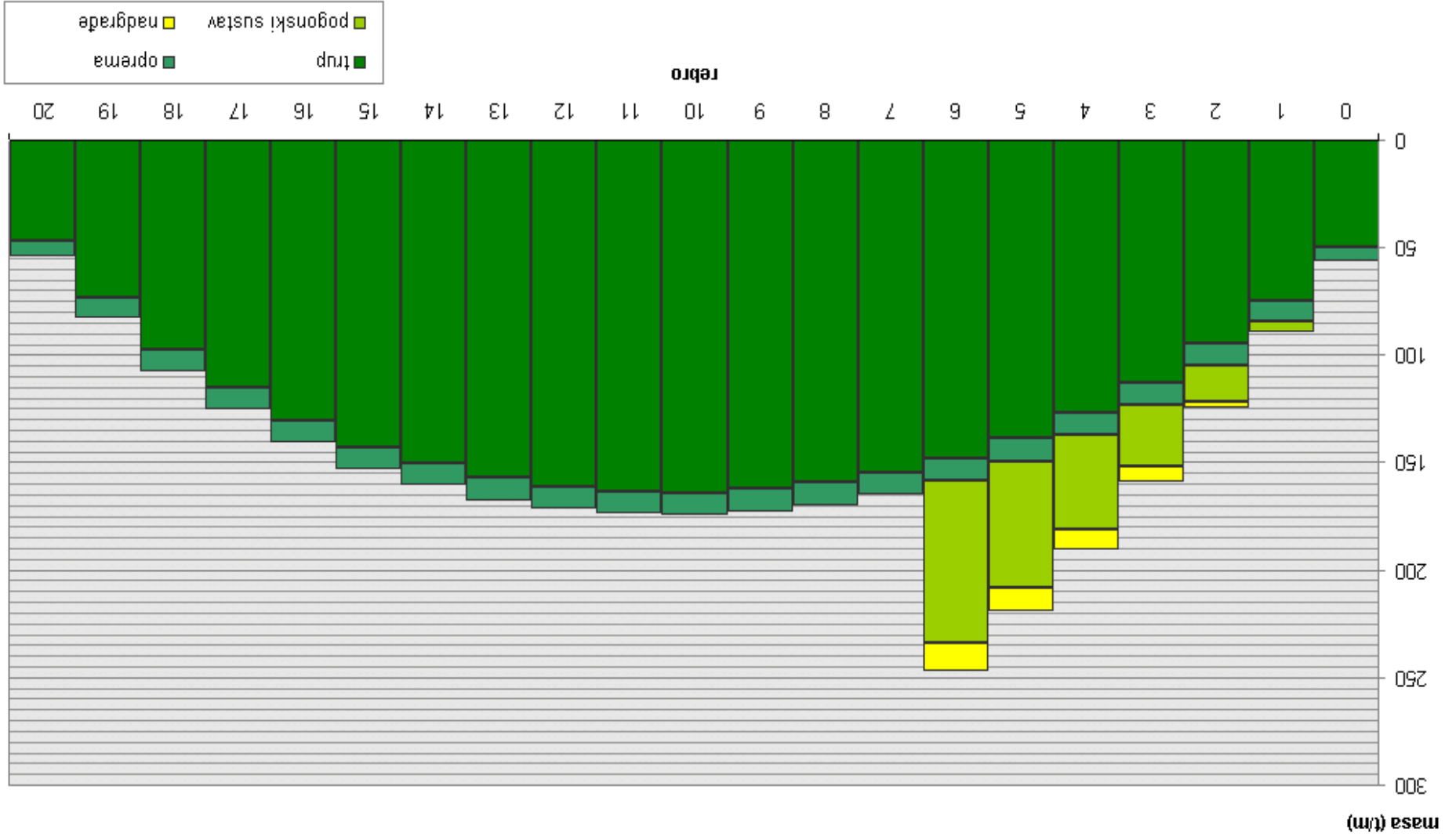
Duljina preko svega	Loa=290.00 m
Duljina između okomica	Lpp=279.50 m



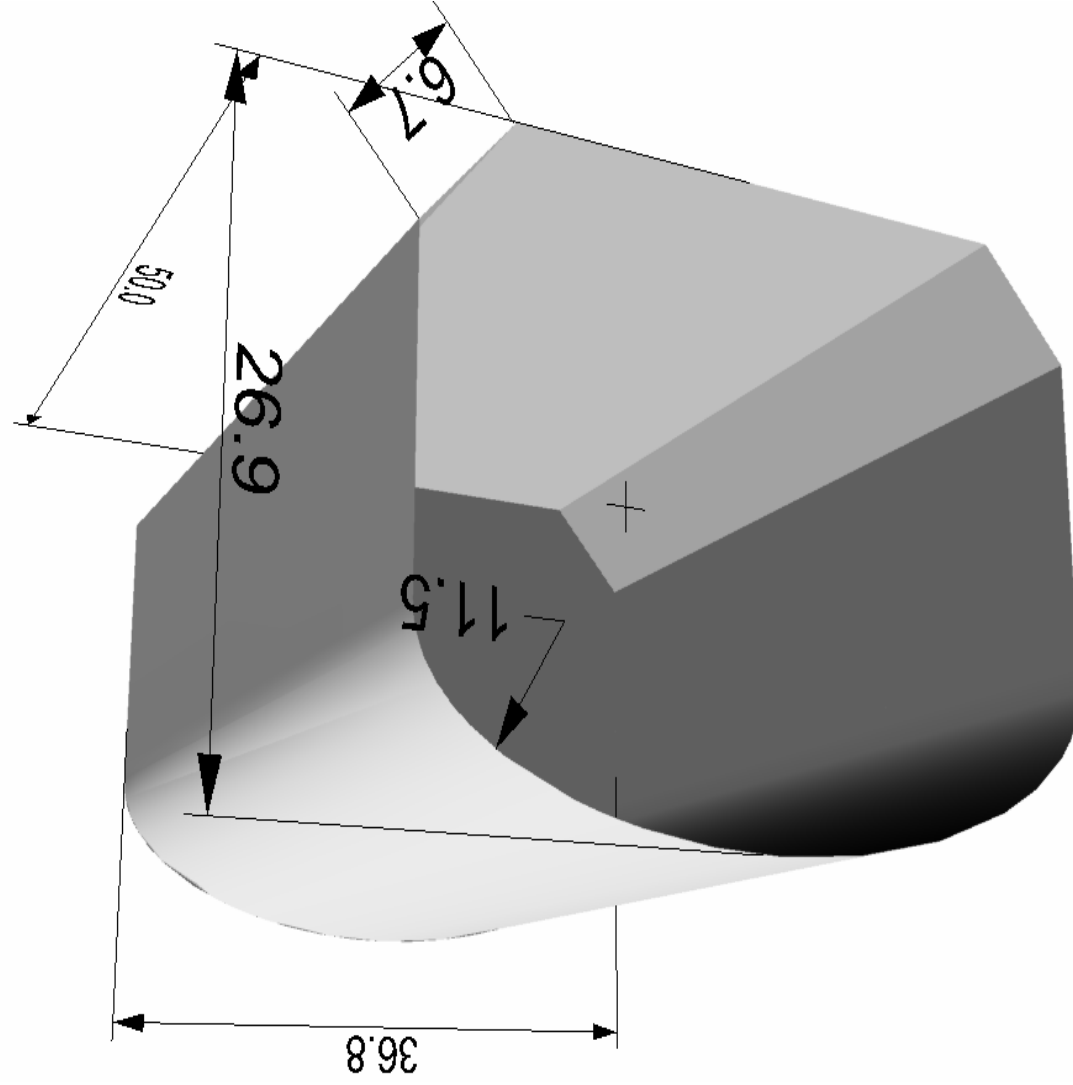
Širina (moulded)	B=44.00 m
Visina do glavne palube	H=26.35 m
Gaz (ballast)	T=9.8 m
Gaz (design)	T=11.6 m
Koeficijent istisnine	Cb=0.758
Brzina na projektnom gasu	v=19.5 kn
pri maksimalnom gasu	DWT= 115 718 t

### ***11.8.2. Dijagram mase praznog opremljenog broda***

Proračun za izradu ovog dijagrama je priložen u prilogu



Dijagram 17: Dijagram masa praznog opremljenog broda



Slika 63: LNG tank, kod poprečnog presjeka donji dio je konvencionalni uglati, gornji dio poluelipsa

### *11.8.2. Podaci o teretnim tankovima:*

#### TANK 1

volumen (100%)	$V = 26312 \text{ m}^3$
duljina	$L = 38 \text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 13\%$
gustoća tereta	$\rho_{LNG} = 0.5 \text{ kg/m}^3$

#### TANK 2,3 i 4

volumen (100%)	$V = 43969 \text{ m}^3$
duljina	$L = 50 \text{ m}$
odnos	$L/L_{pp} = 17\%$
gustoća tereta	$\rho_{LNG} = 0.5 \text{ kg/m}^3$

#### Razmak između rebara

teretnog prostora:	$e = 0.955 \text{ m}$
Debljina izolacije :	$d = 0.545 \text{ m}$
Tip izolacije :	No96

#### Kapacitet tankova zaliha:

- Tankovi dizelskog goriva 3636.5 m<sup>3</sup>
- Tankovi ulja 186.4 m<sup>3</sup>
- Tankovi vode 106.7 m<sup>3</sup>
- Tankovi balasta 54720 m<sup>3</sup>

### ***11.8.3. Odabrani oblik propulzije***

Brzina u službi 19.5 čv pri 88% MCR = 38226 kW

Akcijski radijus 11 500 nm

Usvojeni oblik propulzije je Diesel motor sa sustavom za ukapljivanje plina.

Diesel motori su se pokazali kao termički efikasniji od parnih turbina, izgaraju manje goriva te proizvode 30% manje štetnih plinova. Ovi brodovi su prvi opremljeni sa sistemom za ponovno ukapljivanje, koji vraća plin oslobođen usljed neminovnih isparavanja natrag u teretne tankove. Plinska isparavanja iz tereta LNG brodovi obično koriste za svoj pogon, ona pokreću parni kotao za stvaranje pare i pokretanje parne turbine, ali ne i na ovim brodovima zahvaljujući diesel motorima. Istraživanja su potvrdila ove brodove visoko rangirane na ljestvici ekonomičnosti kao brodove kojima se isporučuje kompletna količina ukrcanog LNG-a što je zagantirano alternativnim propulzijskim sistemom, efikasnim sporohodnim dizel motorima kao i upotrebom sistema za ponovno ukapljivanje. Što se tiče tankova oni koriste već postojeću tehnologiju membranskih tankova, a zbog kratkog vremenskog roka izgradnje Qatari flote. Membranski iznimno podhlađeni tankovi za prijevoz LNG-a na LNG brodovima održavaju plin na temperaturi od -162 C. Novost na brodu je i sistem protupožarne zaštite koji je napravljen kao kombinacija Hi-ex pjene, sistema Hi-fog vode i sigurnijih i čistih vatrogasnih činbenika a s ciljem da se izuzme korištenje CO2.



Slika 66: Postrojenje za ponovno ukapljivanje isparenog prirodnog plina na LNG tankeru

#### 11.8.4. Proračun potrebne snage i odabir pogonskog stroja

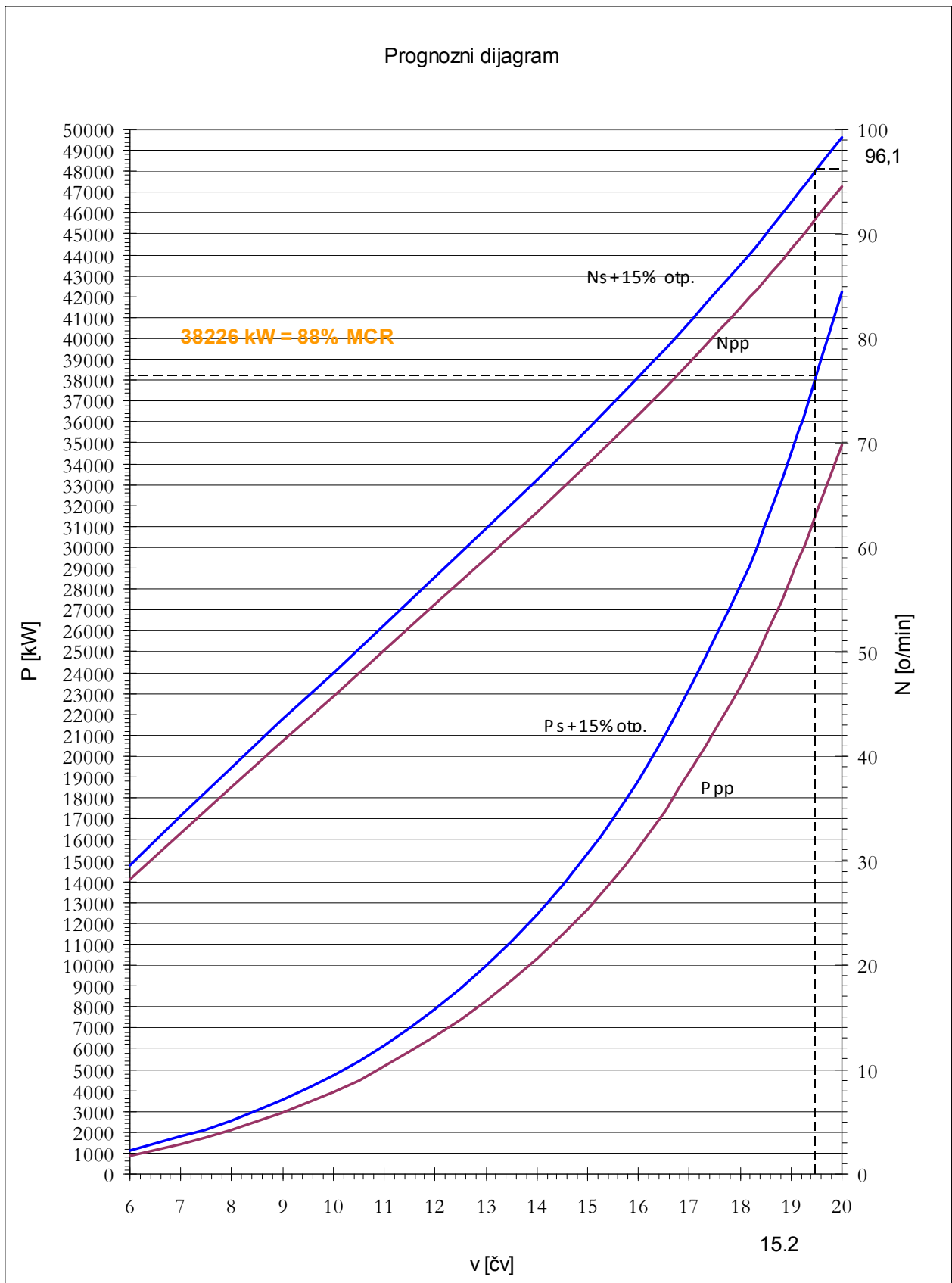
Program koji je korišten za izradu prognoznog dijagrama je Navkad..

Podatke za propeller se dobije tako da se unesu glavne karakteristike broda u program Projekt 31,nakon čega on ponudi nekoliko dobrih propelera I izabere optimalni.

Najoptimalniji propeler po  $\eta_o$  i  $\eta_u$ :  $D = 9.0 m$ , 4 krila

Tabela 18: Podaci za prognozni dijagram

brzina	Ns+15%	Npp	Ps+15%	Ppp
6	29,6	28,194	1129	868,4615
8	38,9	37,0368	2525	2091,964
10	48	45,68167	4718	3912,106
12	57,2	54,52812	7903	6563,953
14	66,5	63,37059	12400	10297,29
16	76,3	72,70821	18818	15590,72
18	87,1	82,9377	28193	23338,58
19	93	88,60506	34542	28570,72
19,5	96,1	91,53118	38226	31591,74
20	99,2	94,53086	42262	34898,43



Slika 67. Prognozni dijagram



Programom Navkad određena je snaga za uvjete pokusne plovidbe. Dodatak snage za službu (obraštanje trupa i nepovoljni vremenski uvjeti) iznosi 15%.

Očitavanja prognoznog dijagrama:

- brzina broda u službi od 19.5 čv postiže se pri snazi od 38226 kW,
- brzina broda na pokusnoj plovidbi od 20 čv postiže se pri snazi od 35000 kW.

Maksimalna trajna snaga pogonskog stroja:

$$P_{\text{MCR}} = \frac{P_s}{0.9} = 42473 \text{ kW}$$

Odabir glavnog stroja:

Na osnovu zahtjevane maksimalne trajne snage izračunate prema izrazu odabran je pogonski stroj:

- MAN B&W Diesel Two-stroke tip 12K80ME-C6
- snaga (MCR) 43320 kW
- broj okretaja 104 min<sup>-1</sup>
- specifična potrošnja goriva 171 g/kWh
- broj cilindara 12
- masa 1292 t

Tabela 19: Podaci o izabranom motoru

Bore: 800 mm, Stroke: 2300 mm

Main Data					
<b>Layout points</b>		<b>L<sub>1</sub></b>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
<b>Speed</b>	r/min	<b>104</b>	104	89	89
<b>mep</b>	bar	<b>18.0</b>	14.4	18.0	14.4
		<b>kW</b>	kW	kW	kW
12K80ME-C6		<b>43320</b>	34680	37080	29640
Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)					
g/kWh		<b>171</b>	164	171	164
Lubricating and Cylinder Oil Consumption					
Lubricating oil		0.15 g/kWh			
Cylinder oil		0.7 g/kWh			
<b>Cyl. No</b>	<b>12</b>				
L <sub>min</sub> mm	20748				
H <sub>1</sub> mm	11900				
H <sub>2</sub> mm	11500				
H <sub>3</sub> mm	11300				
A mm	1510				
B mm	4088				
E mm	1424				
Dry Mass t*	1292				

## 12. EKONOMSKA ANALIZA

### UKUPNA INVESTICIJA:

Ukupna investicija sastoji se od:

Cijene broda koju određuje brodogradilište

Cijene opreme koju isporučuje brodovlasnik

Nepredviđenih troškova

Cijene kredita

Cijena broda je određena iz dostupnih podataka s interneta prema ugovorenim cijenama sličnih brodova u 2008. godini i iznosi:  $t_p = 200$  miliona \$

Za nepredviđene troškove uzima se 0.5 % od cijene broda:

$$t_c = 0.005 \cdot t_p \qquad t_c = 1000000 \$$$

Za cijenu opreme koju isporučuje brodovlasnik uzima se 1 % od cijene broda koju određuje brodogradilište

$$t_e = 0.01 \times t_p \qquad t_e = 2000000 \$$$

Za cijenu kredita (2 godine gradnje), svake godine po 35 miliona \$ uz 9 % kamate dobiva se

$$t_k = 2 \cdot 0.09 \cdot 100\,000\,000 \qquad t_k = 18\,000\,000 \$$$

**Ukupna investicija iznosi:**

$$Cv = t_p + t_c + t_e + t_k$$

$$Cv = 200\,000\,000 + 1\,000\,000 + 2\,000\,000 + 18\,000\,000 = 221\,000\,000 \$$$

### POVRATNI KAPITAL:

Kapital koji moramo vratiti računa se prema sljedećem izrazu:

$$p_0 = C_v - C_F \quad , \quad \text{gdje je}$$

$p_0$  - kapital koji moramo vratiti

$$CR = \frac{\frac{t_p}{20}}{(1.09)^{20}} \quad CR = 1784308 \$ \quad \text{odnosno,}$$

$$p_0 = C_v - C_F = 221000000 - 1784308 = 219215692 \$$$

Godišnja rata računa se na sljedeći način:

$$A = p_0 \cdot \frac{k \cdot (1+k)^n}{(1+k)^n - 1}$$

$$A = 76\,725\,492 \cdot \frac{0.09 \cdot (1.09)^{20}}{1.09^{20} - 1} = 24014305 \$$$

Faktor povratka kapitala računa se po sljedećoj formuli i on iznosi:

$$CR = \frac{A}{p_0} \quad CR = \frac{24014305}{219215692} = 0.1095$$

Bare boat charter:

$$P_{\text{BBCL}} = A = 24014305 \text{ \$/god.}$$

### TROŠKOVI POSLOVANJA S BRODOM:

Vrsta broda: LNG tanker

Životni vijek broda: 20 godina

Dnevna potrošnja teškog goriva:  $q_{\text{HFO}} = 70 \frac{\text{t}}{\text{day}}$

Registarska tonaža: 64 971 RGT

### TROŠKOVI POSTOJANJA ( Daily running costs ):

a) Posada 10 časnika x 40000 \$/god

15 mornara x 18000 \$/god

Sveukupno: 670000 \$/god

b) Hrana 12 \$/dnevno:  $25 \times 365 \times 12 = 109\,500$  \$/god.

Zalihe = 85000 \$/god

Sveukupno: 194500 \$/god

c) Održavanje i popravci, prema procjeni: 100000 \$/god

d) Osiguranje broda prema formuli: 1 % od  $C_v$  i 7 \$/GT

$$0.01 \cdot 210000000 + 7 \cdot 64971 = 2554797 \text{ \$/god.}$$

e) Uprava i opći troškovi: zastava 100000 \$

	management	100000 \$
	ostalo	30000 \$
<hr/>		
Sveukupno:		230000 \$/god

Ukupni troškovi postojanja:

$$P_{DCR} = a + b + c + d + e$$

$$P_{DCR} = 670\,000 + 194\,500 + 100\,000 + 2\,554\,797 + 230\,000 = 3\,839\,297 \text{ $/god}$$

Time charter se računa na slijedeći način:

$$P_{TC} = P_{DRC} + P_{BBC}$$

$$P_{TC} = 3\,839\,297 + 240\,143\,05 = 278\,536\,02 \text{ $/god.}$$

### TROŠKOVI PLOVIDBE:

Pri obračunu troškova vožnje broda pretpostavljeno je da će brod ploviti 280 dana u godini sa ukrajam goriva u Qataru.

Cijena teškog goriva: 568.5 \$/t

Cijena ulja za podmazivanje: 1 \$ = 1l; 35l = 1000 kW

a) Trošak potroška goriva:

$$T_{HFO} = 280 \cdot q_{HFO} \cdot 568.5$$

$$T_{HFO} = 11142600 \text{ $/god.}$$

b) Troškovi potroška ulja za pomazivanje :

$$T_0 = 280 \cdot \frac{16660}{1000} \cdot 35 \cdot 1 = 163\,268 \text{ \$/god.}$$

### Ukupni troškovi plovidbe:

$$P_{DRC} = a + b$$

$$P_{DRC} = 11142600 + 163\,268 = 11305868 \text{ \$/god.}$$

### UKUPNI TROŠKOVI (voyage charter):

$$P_{VC} = P_{TC} + P_{DRC}$$

$$P_{VC} = P_{TC} + P_{DRC} = 27853602 + 11305868 = 39159470 \text{ \$/god.}$$

### VRIJEME PUTOVANJA:

Vrijeme potrebno da brod dođe od SAD-a do Kine (udaljenost je cca:447 nm, brzina plovidbe 19.5 čv) i natrag računa se prema slijedećoj formuli:

$$T_s = 2 \cdot \frac{447}{19.5 \cdot 24} = 1.9 \text{ dana}$$

Potrebno je uzeti u obzir kašnjenje broda i vrijeme potrebno za pražnjenje skladišta:

Za kašnjenje broda uzimamo 0.2 dana po smjeru, tj  $T_D = 2 \cdot 0.2 = 0.4$  dana.

Vrijeme punjenja ( $T_L$ ) i pražnjenja ( $T_A$ ) tankova:

$$T_L = 1 \text{ dan}$$

$$T_A = 0.0001 \cdot \left( \frac{DWT \cdot 0.975}{1000} \right)^2 = 1.1 \text{ dana}$$

Ukupno trajanje jedne rute puta iznosi:

$$T = T_s + T_D + T_L + T_A$$

$$T = 1.9 + 0.4 + 1 + 1.1 = 4.4 \text{ dana}$$

### ODREĐIVANJE UKUPNOG GODIŠNJEG DWT-a:

Godišnje prevezeni DWT računa se prema izrazu:

$$\sum DWT = DWT \cdot N$$

DWT = 115718 t      Korisna nosivost broda

N      Broj godišnji putovanja broda, određuje se dijeljenjem broja dana broda u službi sa sveukupnim trajanjem jedne rute puta.

$$N = \frac{365 - 15}{4.4} = 79 \text{ puta,}$$

Ukupni godišnji DWT:

$$\sum DWT = 115718 \cdot 79 = 9141722 \text{ t}$$

### ODREĐIVANJE POTREBNE VOZARINE (RFR):

Vozarina se određuje tako da se ukupni troškovi (voyage charter) podijele sa ukupnim godišnjim DWT-om.

$$RFR = \frac{P_{vc}}{\sum DWT} \qquad RFR = 20.28 \text{ \$/t}$$

### BRUTO PROFIT:

Prema rezultatima dobivenima u gornjoj točki, ukupni godišnji troškovi poslovanja broda (Voyage charter):

$$P_{vc} = 39159470 \text{ \$/god}$$

Ukupna količina godišnje prevezenog tereta:

$$\sum DWT = 9141722 \text{ t}$$



### 13. ZAKLJUČAK

Posljednjih godina je u svijetu porastao interes za plinom kao zamjenskim energentom za naftu jer velike svjetske naftne kompanije postaju svjesne činjenice kako će se velika naftna polja iscrpiti već u skorijoj budućnosti. Samim tim je prisutan trend istraživanja alternativnog goriva kao što je prirodni plin, koji leži ispod zemljine kore u, za sada, neograničenim količinama. Razvijene zemlje imaju dobro razgranatu mrežu plinovoda, no u ostatku svijeta je transport plina od izvora do potrošača jako slabo razvijen. Uz to, nije ni isplativo transportirati plin na velike udaljenosti plinovodima. Kao idealno rješenje problema se pojavljuju LNG tankeri koji u svoji spremnicima na jako niskim temperaturama nose plin u ukapljenom agregatnom stanju i samim tim ostvaruju ogromnu uštedu u iskoristivosti teretnog prostora i samim tim bolju isplativost.

Tankovi koji prenose ukapljeni prirodni plin su sami po sebi jako zanimljivi sustavi jer odolijevaju mnogim ekstremnim uvjetima: iznutra ukapljeni plin pri temperaturi od  $-163^{\circ}\text{C}$ , slojevi izolacije te primarna i sekundarna membrana, sa zadaćom očuvanja temperature tereta i sprječavanja eventualnog curenja što bi bilo kobno za ostatak brodske strukture.

Danas na tržištu vladaju dva najčešća modela LNG brodova koja se nude i brodovlasnicima i brodogradilištima, membranski tip GT No 96 i sferni tip B po licenci Moss Maritime.

Postoje brojne razlike između ta dva tipa broda, ali one osnovne polaze od činjenice da je volumen teretnog tanka kod membranskog tipa broda definiran dimenzijom trupa i širinom dvostruke oplata, a kod sfernog tipa broda standardnim dimenzijama tanka u proizvodnji. Upravo zbog toga, kod sfernog koncepta broda postoji prazan prostor između tanka i unutrašnje oplata trupa, što kod membranskog tipa nije slučaj jer on u potpunosti ispunjava prostor unutrašnjeg dijela trupa. Zaključuje se da upravo iz tog razloga membranski tip broda ima bolju iskoristivost volumena trupa, što znači da taj tip broda za isti kapacitet tankova ima manje dimenzije, što je vrlo važna činjenica svakom brodovlasniku, jer smanjenje dimenzija za istu nosivost povlači za sobom i

brojne druge prednosti, prvenstveno niže lučke pristojbe, ali i manju snagu pogonskog stroja za postizanje iste brzine.

Nedostatak membranskog tanka konvencionalnog oblika je sloshing, odnosno djelovanje slobodne površine. Dizajnirano je pet sasvim novih oblika tankova koji bi zbog svog oblog gornjeg dijela trebali pozitivno utjecati na pojavu sloshinga, odnosno na njeno eliminiranje u što većoj mjeri. Nakon dizajniranja brodova s novim spremnicima u programu GHS donesen je zaključak kako je najpovoljniji novi oblik membranskog tanka upravo onaj kojem je donji dio identičan kao i dosadašnjem membranskom tanku, a gornji dio u obliku poluelipse.

Prihvaćenom, novom tipu broda s gore opisani spremnicima je instaliran pogonski stroj

MAN B&W Diesel sporohodni dvotaktni motor 12K80ME-C6 i postrojenje za ponovno ukapljivanje isparenog plina na brodu. Samo postrojenje za ukapljivanje je također inovacija koja je do sada ugrađena u samo jedan brod, ali se smatra kako ima svijetlu budućnost jer je isplativiji način rješavanja problema isparavanja plina vraćanje nazad u teretne spremnike nego isti koristiti za pogon.

Sve upućuje na to da brodovlasnici ne okreću leđa novim tehnologijama u korist veće isplativosti, sigurnosti i ekološke očuvanosti. Svakodnevno se pomiču granice, morima već plove i tkz. "supertankeri" koji su ujedinili sva najnovija dostignuća na polju konstruiranja i gradnje LNG brodova.

## 14. LITERATURA

- [1] Moss LNG carrier concept technology transfer seminar, Moss Maritime, 2002.
- [2] Pierre Jean-Henry Petit, Methane by the sea, P. Tacussel Editeur Marseille
- [3] Andy Flower, The GWC Group, Presentation 2008.
- [4] [http://www.our-energy.com/hr/ukapljeni\\_prirodni\\_plin.html](http://www.our-energy.com/hr/ukapljeni_prirodni_plin.html) [5]
- [6] Watson, D. G. M.: Practical Ship Design, Elsevier, Oxford, 1998.
- [7] <http://www.intertanko.com/pubupload/curt.pdf>
- [8] <http://www.dnv.no>
- [9] <http://www.poten.com/>
- [10] <http://www.qatargas.com.qa/uploadedFiles/Pioneer-September-06-English.pdf>
- [11] MAN B&W Diesel A/S, Engine Selection Guide, 5th Edition February 2000
  
- [12] Doc. ing. Josip Uršić, Stabilitet broda I. Dio, Zagreb, 1962.
- [13] Nikola Vladimir, Diplomski rad, FSB Zagreb, 2007. (Sloshing)
- [14] Gorana Poljak, Diplomski rad, FSB Zagreb, 2002. (Membranski i sferni tankovi)
- [15] D. Gugić; PROJEKT31.exe, Program za određivanje otpora i propulzije, FSB, Zagreb, 2006.
- [16] Program GHS 32
- [17] MAN B&W Diesel A/S, Engine Selection Guide, 5th Edition February 2000

## **15. PRILOG**

- IZVJEŠĆA IZ PROGRAMA GHS ZA BROD S PRIHVAĆENIM NOVIM OBLIKOM TANKA
- PRORAČUN GLAVNIH KARAKTERISTIKA BRODA
- NACRT OPĆEG PLANA BRODA; GLAVNOG REBRA I PRESJECI PO PALUBAMA PALUBNE KUĆICE