

Prijevoz krutih rasutih tereta morem koji su skloni likvifikaciji

Carriage by Sea of Solid Bulk Cargoes that are likely to Liquefy

Anto Kristić

Hrvatski registar brodova
Rijeka
e-mail: antokristic@yahoo.com

Miroslav Randić

Hrvatski registar brodova
Rijeka
e-mail: miroslav.randic@crs.hr

UDK 347.79* 656.073.43

Stručni članak / Professional paper

Rukopis primljen / Paper accepted: 27. 8. 2012.

Sažetak

Ovaj se rad bavi sigurnim prijevozom tereta skupine A IMSBC Kodeksa, dakle krutih rasutih tereta morem koji su pod određenim uvjetima skloni da likvificiraju. Jedan od takvih tereta je niklova rudača, koja se je u protekle dvije godine pokazala tragičnom za četiri broda i njihove posade nestala ploveći iz Indonezije ili Filipina nakrcana teretom niklove rudače namijenjene kineskoj teškoj industriji. Najvjerojatniji uzrok nestanku brodova je gubitak potrebnog stabiliteta i potonuće kao posljedica pomaka likvificirane niklove rudače u nevremenu na pozicijama u području između otoka Luzona i Taiwana. Netragom su nestali:

- 25. prosinca 2011. „Vinalines Queen“,
- 3. prosinca 2010. „Hong Wei“,
- 18. studenoga 2010. „Nasco Diamond“,
- 27. listopada 2010. „Jiang Fu Star“.

Svi ti brodovi bili su veličine handy size bulk carriers« nosivosti od 50.000 do 60.000 dwt (slika 1.). Svrha je ovom članku da podsjeti zapovjednike brodova i ostalo osoblje uključeno u prijevoz krutih rasutih tereta skupine A na koji će način procijeniti veličinu rizika što ih sadržava planirano stanje nakrcanosti takvim teretima.

Summary

This paper deals with the safe carriage by sea of the IMSBC Code group «A» Solid Bulk Cargoes that are likely to liquefy under certain circumstances. One of such cargoes is the nickel ore. In two years' recent period it has proved to be tragic for four ships and their crews which were lost while enroute from Indonesia or Philippines to China ladden with the cargo of nickel ore intended for Chinese steel industry. The most probable reason for the loss of ships is the loss of the acquired stability and sinking due to the shift of the liquefied nickel ore in a bad weather encountered in Luzon-Taiwan range area. The lost ships were:

- 25 December 2011 Vinalines Queen
- 3 December 2010 Hong Wei
- 18 November 2010 Nasco Diamond
- 27 October 2010 Jiang Fu Star

All the above mentioned ships were «handy size» class bulk carriers of 50 000 – 60 000 dwt, figure 1. The purpose of this topic is to remind masters of ships and others involved in shipment of group A solid bulk cargoes how to assess magnitude of the risks posed by a proposed loading condition.

RIZICI POMAKA TERETA PRI PRIJEVOZU KRUTIH RASUTIH TERETA MOREM / The cargo shifting risks posed at carriage of solid bulk cargoes by sea

Kada se govori o prijevozu krutih rasutih tereta morem, treba razlikovati dva tipa mogućeg pomaka tereta.

Prvi tip pomaka tereta očituje se u presipanju (*sliding failure*) uvjetovanim malim kutom prirodnog priklona (*angle of repose*), manjim od 35 stupnjeva, zastupljenim kod žitarica. Prijevoz žitarica u rasutom stanju morem reguliran je zahtjevima iz *International Grain Code* (Grain Code, 1991.), s kriterijima o pitanju stabiliteta kojima mora udovoljavati brod nakrcan žitom prije isplavljenja na otvoreno more.

Drugi tip pomaka tereta uvjetovan je likvifikacijom. Fenomen se pojavljuje kad se poveća sadržaj vlage u teretu, dakle kada na teret sa sadržajem vlage iznad dopuštene granice, odnosno TML (*Transportable Moisture Limit*) djeluju vanjske agitacije kao pritisak viših slojeva tereta, vibracije brodskih strojeva i trešnje uvjetovane brodskim gibanjem.

Naime, prostore između čestica krutog materijala ispunjava zrak i sile kohezije održavaju teret u krutom stanju. Kada se takav teret nađe pod utjecajem vanjskih agitacija, kao vibracija, tlaka i slično, zrak u međuprostoru između čestica zamjenjuje voda. Rastom tlaka te vode smanjuju se kohezijske sile i materijal/teret postaje viskozian i sklon pomaku.

KLJUČNE RIJEČI

IMSBC kodeks
tereti grupe „A“
niklova rudača
likvifikacija
FMP
TML
brodovi za prijevoz rasutog tereta
postojeći brodovi
posebno građeni brodovi
posebno prilagođeni brodovi
kruti rasuti teret

KEY WORDS

IMSBC Code
Group „A“ Cargoes
Nickel Ore
Liquefaction
FMP
TML
Bulk Carriers
Existing Ships
Specially Constructed Ships
Specially Fitted Ships
Solid Bulk Cargo

Tako se teret koji je likvificirao pomiče brodskim valjanjem, pa slijedi nagib broda u jednu stranu, ali se ne vraća s nagibom broda na drugu stranu, a pomak se nastavlja ponovno tek nagibom broda na inicijalnu stranu. Taj progresivni nagib vrlo brzo uzrokuje prevrtanje, pa time i potonuće broda.

S pomakom težišta tereta, naime, pomiče se i težište cjelokupnog broda u nepovoljnom smislu, poprečno i vertikalno, što ima za posljedicu :

- smanjenje opsega stabiliteta,
- smanjenje poluga krivulje statičkog stabiliteta, GZ krivulje,
- smanjenje metacentarske visine zbog nepovoljnog utjecaja vertikalnih momenata.

Prijevoz tereta sklonih pojavi likvifikacije reguliran je poglavljem 7 *International Maritime Solid Bulk Cargoes Code* (IMSBC) (u daljnjem tekstu Kodeks) koji je prihvaćen IMO rezolucijom MSC.268 i stupio je na snagu počevši od 1. siječnja 2011.

Prema poglavlju 7 Kodeksa, prijevoz tereta sklonih likvifikaciji, tereta skupine A, dopušten je postojećim brodovima samo uz uvjet da je sadržaj vlage u teretu (engl. *Moisture content*, skraćeno MC) manji od vrijednosti *Transportable Moisture Limit* (TML), koju utvrđuje poznati i priznati laboratorij kao sadržaj vlage pri kojemu uzorak tereta izložen simulaciji vibracija likvificira – tzv. *Flow Moisture Point* (FMP) umanjen za 10%. U protivnome, prijevoz tereta grupe A sa sadržajem vlage (MC) većim od dopuštenoga (TML), moguć je samo posebno građenim (*pecially constructed*) ili posebno prilagođenim (*pecially fitted*) brodovima.

Kada se ovi tereti krcaju na postojeće brodove, uvijek treba imati na umu da je likvifikacija tijekom predstojećeg putovanja moguća iz sljedećih razloga:

1. deklaracije o sadržaju vlage (*Moisture Content Declaration*), (*Transportable Moisture Limit Declaration*) i druge informacije o teretu mogu biti nevjerodostojne,
2. veće kiše u vremenu između izdavanja deklaracija i početka ukrcaja,
3. nestručno tumačenje rezultata *can testa*.¹

NAIZMJENIČNO KRCANJE SKLADIŠTA / *Alternate loading*

Ovo stanje nakrcanosti dopušteno je samo na brodovima mlađima od deset godina i kojima knjiga trima i stabiliteta dopušta ovo stanje nakrcanosti.

Teret skupine A, npr. niklova rudača, krca se samo u tri od postojećih pet skladišta, tj. u skladišta br. 1, 3 i 5, dok skladišta br. 2 i 4 ostaju prazna.

Ako je zbog niže gustoće tereta, kako bi se postizao željeni trim ili prihvatljive vrijednosti uzdužnog opterećenja trupa momentima savijanja (engl. *Bending moments*, skr. BM) i prekidnim silama (engl. *Sheering forces*, skr. SF), ukrcaj potrebno proširiti i na skladišta br. 2 i 4, relativno manje količine tereta u njima moraju biti besprijekorno suhe kako bi se prema točki 7.2.2.3 Kodeksa, «dry cargoes are not liable to liquefy» mogli ignorirati svi rizici likvifikacije u tim skladištima.

U planiranju ukrcaja potrebno je voditi računa o dopuštenom opterećenju pokrova dvodna u pojedinim skladištima. Također treba imati na umu da pomak tereta ne samo da ugrožava brodski stabilitet već izaziva i dodatna opterećenja elemenata strukture brodskih skladišta, pa je potrebno na takvim

¹ Postupak providbe *can testa* definiran je u IMSBC kodeksu, točka 8.4.

brodovima provesti i dodatne proračune o procjeni čvrstoće tih elemenata, te ih, po potrebi, dodatno pojačati.

PROCJENA KUTA α KOJI ĆE ZAUZETI POVRŠINA LIKVIFICIRANOG TERETA NAKON POMAKA / *Surface angle α of the shifted liquefied cargo*

U skladu s tumačenjem MCA Load Lines – točka 8.23.2.2, ovaj kut α određen je kao 35° minus 20° za terete u kojima sadržaj vlage premašuje dopuštene vrijednosti, dakle uz sadržaj vlage (MC) većim od dopuštene vrijednosti (TML). Prema tome, može se poći od toga da će površina tereta koji je likvificirao zauzeti kut od 15° ($\alpha = 15^\circ$).

ODREĐIVANJE UDALJENOSTI d NA KOJOJ SE PREMJEŠTA TEŽIŠTE TERETA (g_1) PRI POJAVI MOGUĆE LIKVIFIKACIJE / *Determination of the distance d of shifting cargo centre of gravity (g_1) in case of probable liquefaction*

Pri mogućem pomaku likvificiranog tereta, težište tereta (g_1) premješta se za udaljenost d koja je jednaka $2/3$ srednje vrijednosti širine skladišnog prostora (slika 2.).

PROCJENA KOLIČINE LIKVIFICIRANOG TERETA w KOJI SE PREMJEŠTA UZ MOGUĆU LIKVIFIKACIJU / *Estimation of cargo quantity (w) being shifted in case of probable liquefaction*

Pri pomaku tereta u poprečnom smislu formiraju se klinovi. Jedan od klinova je praznina što je ostavlja pomaknuti teret, dok je drugi klin volumen pomaknutoga tereta. Umnožak volumena klina pod kutom od 15° i gustoće tereta čini težinu pomaknutog tereta w . (slika 3.)

MOMENATI KOJI SE POJAVLJUJU ZBOG POMAKA TERETA / *Moments caused by shifting of cargo*

Kad se pomiču određene količine tereta (w) za udaljenost (d), nastaje moment koji je:

$$\text{Moment} = w \times d \quad (1)$$

i on uzrokuje nagib broda za kut φ . Taj nagibni moment ima dvije komponente, vertikalnu i horizontalnu. Prema MSA, Load Line – Točka 8.23.2.2. vrijednosti tih komponenata računa se prema formulama:

- horizontalna komponenta nagibnog momenta =

$$\frac{l}{12} \times \delta \times \tan \alpha \int_0^1 x b^3 \quad (tm) \quad (2)$$

- vertikalna komponenta nagibnog momenta =

$$\frac{l}{24} \times \delta \times \tan^2 \alpha \int_0^1 x b^3 \quad (tm) \quad (3)$$

gdje je:

l - duljina skladišnog prostora,

δ - gustoća tereta,

b - širina skladišnog prostora,

α - kut za koji se naginje površina pomaknutoga tereta.

Horizontalna komponenta određuje kut φ nagiba broda pri pretpostavljenom pomaku tereta, poluge krivulje nagibnog momenta λ , za uspravan brod λ_0 i pri kutu nagiba $40^\circ \lambda_{40}$.

$$\lambda_0 = \frac{\text{horizontalna komponenta nagibnog momenta (tm)}}{\text{istisnina broda D (t)}} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

$$\lambda_{40} = \lambda_0 \times 0,8 \quad (\text{m}) \quad (5)$$

$$\text{tangens kuta nagiba broda } (\varphi^\circ) = \frac{\text{horizontalna komponenta nagibnog momenta (tm)}}{\text{metacentarska visina (MG)(m) x istisnina (D)(t)}} \quad (6)$$

Vertikalna komponenta nagibnog momenta podijeljena istisninom daje popravak za položaj sistemnog broskog težišta (GG_1):

$$GG_1 = \frac{\text{vertikalna komponenta nagibnog momenta (tm)}}{\text{istisnina broda D(t)}} \quad (\text{m}) \quad (7)$$

REDUCIRANE VRIJEDNOSTI POLUGA GZ PRI STVARNOM POMAKU TERETA / *Reduced values of GZ arms in case of actual shift of cargo*

S pomakom tereta pomiče se i brodsko sistemno težište G tako da GZ poluge poprimaju nove vrijednosti G_1Z_1 :

$$G_1Z_1 = GZ - X \quad (8)$$

$$X = \frac{w \times d \times \cos \varphi}{\text{istisnina broda D}} \quad (9)$$

Kako je za iznošenje jedne teme najbolji način prikaz materije na radnom primjeru, to će se u ovom članku dati primjer ukrcaja 55.800 t niklove rudače na brod „HANDY“ u indonezijskoj luci.

PODACI O TERETU / *Cargo information*

Niklova rudača niske koncentracije nikla od 43.692 t, faktor je slaganja (engl. *stowage factor*, skr. SF) 0,66 m³/t i gustoća 1,515 t/m³.

Niklova rudača visoke koncentracije nikla od 12.108 t, SF 0,8 m³/t i gustoće 1,250 t/m³, ukupno teret 55.800 t.

Niklova rudača niske koncentracije nikla krca se u skladišta 1, 3 i 5, dok se teret visoke koncentracije nikla krca u skladišta 2 i 4. Taj je dio tereta potpuno suh što isključuje svaku mogućnost likvifikacije (slika 4.).

ZNAČAJKE BRODA / *Ship particulars*

Ime broda	„HANDY“
Tip broda	brod za prijevoz rasutih tereta
Širina broda	32,26 m
Dimenzije skladišta br. 1 (L x B)	27,88 m x 27,31 m
br. 2	31,16 m x 32,26 m
br. 3	29,52 m x 32,26 m
br. 4	31,16 m x 32,26 m
br. 5	29,52 m x 31,876 m
Istisnina	68.030 t
Srednji gaz	12,85 m
Kut pri kojemu rub palube uranja u mirnu vodu	18,7°

PRORAČUN STABILITETA ZA STANJE NAKRCANOSTI IZ RADNOG PRIMJERA - 55.800 t NIKLOVE RUDAČE / *The working example loading condition stability calculation - 55 800 t of nickel ore*

Po završenom ukrcaju, brod mora udovoljavati sljedećim kriterijima:

- metacentarska visina, ispravljena za utjecaj slobodnih površina tekućina u tankovima i utjecaj vertikalne komponente nagibnog momenta, veća od 0,3 m,
- nagibni kut broda φ manji od 65% kuta pri kojemu rub palube uranja u mirnu vodu,

- rezerva dinamičkog stabiliteta mjerena od kuta φ do kuta nagiba od 30° veća od 0,1 metar-radijana (m-r).

U tablicama od 1 do 10 predočen je proračun stabiliteta u radnom primjeru.

Na slici 5. predstavljene su GZ krivulje za stanje nakrcanosti iz radnog primjera sa slike 4. i za likvifikaciju i stvarni pomak tereta u skladištima 1, 3 i 5.

ZAKLJUČAK / *Conclusion*

Terete skupine A, tj. terete koji su skloni likvifikaciji i pomaku, nedvojbeno je poželjno krcati u naizmjenična skladišta (alternate) br. 1, 3 i 5, dok skladišta br. 2 i 4 ostaju prazna ili se u njih krca relativno mala količina besprijekorno suhog tereta kako bi se postigao željeni trim ili prihvatljive vrijednosti uzdužnih opterećenja.

Kada se odluči postojeće brodove uključiti u prijevoz ovih tereta, neizostavno je potrebno provesti provjeru čvrstoće elemenata strukture u brodskim skladištima i, po potrebi, ih pojačati. Iako se teret, prema zahtjevima IMSBC kodeksa, ne krca na postojeće brodove ako je sadržaj vlage u teretu veći od dopuštenih vrijednosti, zbog često nevjerodostojnih podataka o teretu ili pogrešne interpretacije rezultata *can testa*, ako se teret i krca na postojeći brod, uvijek treba imati na umu da je likvifikacija moguća. U tu svrhu i prije nego se prijevoz tereta zaključi, nužno je provjeriti je li:

- učinjen dodatni proračun čvrstoće strukturnih elemenata u skladištima tereta,
 - u brodskoj knjizi trima i stabiliteta, te u priručniku ukrcaja određen naizmjenični (alternativni) način ukrcaja, tj. ukrcaj u skladišta br. 1, 3 i 5, dok skladišta br. 2 i 4 ostaju prazna. Prije početka ukrcaja, potrebno je provjeriti da planirano stanje nakrcanosti udovoljava sljedećim zahtjevima:
 - vrijednosti uzdužnih opterećenja brodske konstrukcije, momenti savijanja i prekidne sile (BM i SF) unutar su dopuštenih vrijednosti,
 - opterećenja na pokrov dvodna u skladištima tereta unutar dopuštenih su vrijednosti,
 - kut broskog nagiba φ , uvjetovan mogućim pomakom tereta, manji od 65% kuta pri kojemu linija palube uranja u mirnu vodu i identičan je kutu uvjetovanom stvarnim pomakom tereta, tj. pri kojemu reducirana G_1Z_1 krivulja siječe os «x»,
 - rezerva dinamičkog stabiliteta ispod GZ krivulje mjerena od kuta φ do kuta od 30° veća od 0,1 metar-radijana,
 - ostatak rezerve dinamičkog stabiliteta ispod G_1Z_1 krivulje nakon stvarnog pomaka tereta mjereno od kuta presjeka G_1Z_1 krivulje i krivulje dinamičkog stabiliteta ($\lambda_0 - \lambda_{40}$) do kuta od 30° veći od 0,1 metar-radijana ili mu je jednak.
- Kako je u ovdje predstavljenome radnom primjeru udovoljeno svim postavljenim zahtjevima, brod je ukrcao i sigurno prevezao 55.800 tona niklove rudače.

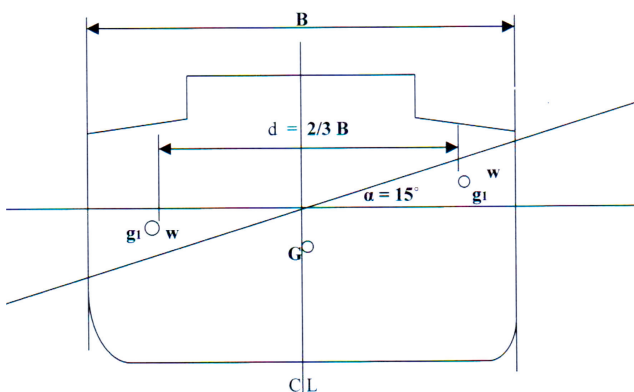
LITERATURA / *References*

- [1] C. B. Barrass, *Ship Stability for Masters and Mates*, 1998
- [2] IMO, *International Maritime Solid Bulk Cargoes Code (IMSBC Code)*, 2009
- [3] Jakob Pinkster, *Some Stability Issues of Ships*, 2001
- [4] Li Yiu-kwong, *Report of Investigation into the Sinking of m/v Hui Long*, 2005
- [5] MCA, *Load Line – Part 8*
- [6] Nordisk Medlemsblad, *Circ. 572, Dangerous Cargo of Nickel Ore that may liquefy*, 2011
- [7] Wang Jian – Ping, *A study on Safe Operation of Nickel Ore*, 2011

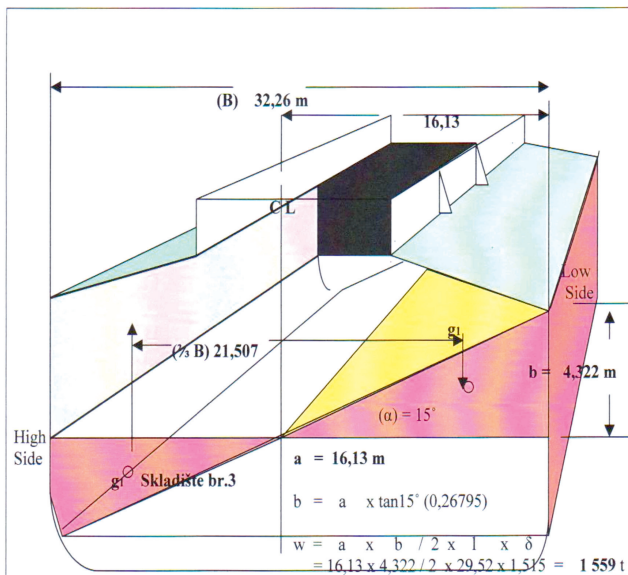
PRILOZI / Attachments



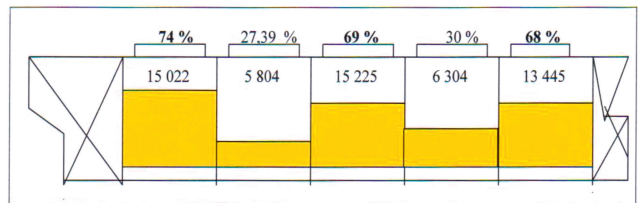
Slika 1. Tipičan brod za prijevoz krutih rasutih tereta
Figure 1 Typical ship used to carry solid bulk cargoes



Slika 2. Udaljenost (d) na kojoj se pri pomaku tereta (w) u poprečnom smislu premjesta težište tog tereta (g1)
Figure 2 The distance (d) of the transversal movement of the cargo (w) centre of gravity (g1)



Slika 3. Procjena količine tereta koja se pomiče uz moguću likvifikaciju
Figure 3 Estimation of cargo quantity being shifted in case of probable liquefaction



Slika 4. Uzdužni raspored tereta po skladištima – radni primjer
Figure 4 The cargo longitudinal configuration – the working example

Tablica 1. Popravak položaja sistemnog težišta broda GG1 zbog utjecaja vertikalne komponente prema formuli (7)
Table 1 The vertical component effects to the ship's gravity centre GG1 according to formula (7)

Skladište br. 1	$= \frac{27,88 \times 20\,369 \times 1,515 \times 0,07180}{24 \times 68030} =$	0,039 m
Skladište br. 3	$= \frac{29,52 \times 33\,573 \times 1,515 \times 0,07180}{24 \times 68030} =$	0,066 m
Skladište br. 5	$= \frac{29,52 \times 32\,385 \times 1,515 \times 0,07180}{24 \times 68030} =$	0,064 m
Ukupni popravak za položaj sistemnog težišta broda GG1		0,169 m

Tablica 2. Proračun centracije T
Table 2 Transversal stability calculation

Items	Weight	VCG	Moment	Free Surface Effects
Constant	320	11,460	3 438	
FO	772	14,663	11 320	669
GO	70	14,571	1 020	79
FW	120	14,331	1 720	489
	12 230		143 247	1 237 (0,20) m
CH.No.1	13 445	7,138	95 970	
CH.No.2	6 304	4,5	28 368	
CH.No.3	15 225	6,918	105 327	
CH.No.4	5 804	4,1	23 796	
CH.No.5	15 022	6,620	99 446	
	(55 800)		496 154	
	68 030 t	7,293 m		
		0,200 m		
Utjecaj vertikalne komponente nag.mom.		0,169 m		
		KoG 7,662 m (fluid)		
		KM 13,844 m		
		MoG 6,182 m		> 0,3 m

Tablica 3. Horizontalna komponenta nagibnog momenta
Table 3 The heeling moment horizontal component

Skladište br. 1	$= \frac{27,88 \times 20\,369 \times 1,515 \times 0,26795}{12} =$	19 211 tm
Skladište br. 3	$= \frac{29,52 \times 33\,573 \times 1,515 \times 0,26795}{12} =$	33 527 tm
Skladište br. 5	$= \frac{29,52 \times 32\,385 \times 1,515 \times 0,26795}{12} =$	32 344 tm
Ukupna vrijednost horizontalne komponente		= 85 082 tm

Tablica 4. Poluge GZ krivulje statičkog stabiliteta za KoG 7,662 m
Table 4 GZ static stability curve arms for KoG 7,662 m

φ	0	10	20	30	40	50	60	70
KN ²	0	2,426	4,840	6,870	8,581	9,844	10,565	10,834
sin φ	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,940
KoG x sin φ	0	1,330	2,621	3,831	4,925	5,869	6,635	7,200
GZ	0	1,096	2,219	3,039	3,656	3,975	3,930	3,634

²Vrijednost KN utvrđena iz hidrostatskih podataka broda iz radnog primjera.

Tablica 5. Poluge krivulje dinamičkog stabiliteta – ravan brod i pri kutu nagiba od 40°

Table 5 Dynamic stability curve arms for the ship upright (λ_0) and at 40° heel (λ_{40})

$\lambda_0 = \frac{85\,082}{68\,030}$	prema formuli (4)	$\lambda_{40} = 1,251 \times 0,8$	prema formuli (5)
$= 1,251 \text{ m}$		$= 1,000 \text{ m}$	

Tablica 6. Kut nagiba broda (φ) pri mogućem pomaku tereta
Table 6 Angle of heel (φ) in case of a probable shift of cargo

$\tan \varphi = \frac{85\,082}{68\,030 \times 6,182} = 0,20230$	$11,44^\circ < 12,15^\circ$ (65% od $18,7^{(3)}$) ⁴
(prema formuli 6)	

Tablica 7. Vrijednosti «X» kojima se reduciraju GZ poluge krivulje statičkog stabiliteta

Table 7 The values of «X» to reduce the GZ static stability curve arms

φ	0	10	20	30	40	50	60	70
$\cos \varphi$	1	0,985	0,940	0,866	0,766	0,643	0,5	0,342
X	1,251	1,232	1,175	1,083	0,958	0,804	0,625	0,428
prema formuli (9)								

Tablica 8. Reducirane poluge GZ krivulje statičkog stabiliteta
Table 8 Reduced GZ static stability curve arms for the value of «X»

φ	0	10	20	30	40	50	60	70
GZ	0,000	1,096	2,219	3,039	3,656	3,975	3,930	3,634
X	-1,251	-1,232	-1,175	-1,083	-0,958	-0,804	-0,625	-0,428
$G_1 Z_1$	-1,251	-0,136	1,044	1,956	2,698	3,171	3,305	3,206
(prema formuli 8)								

Tablica 9. Rezerva dinamičkog stabiliteta za stanje nakrcanosti na slici 4.

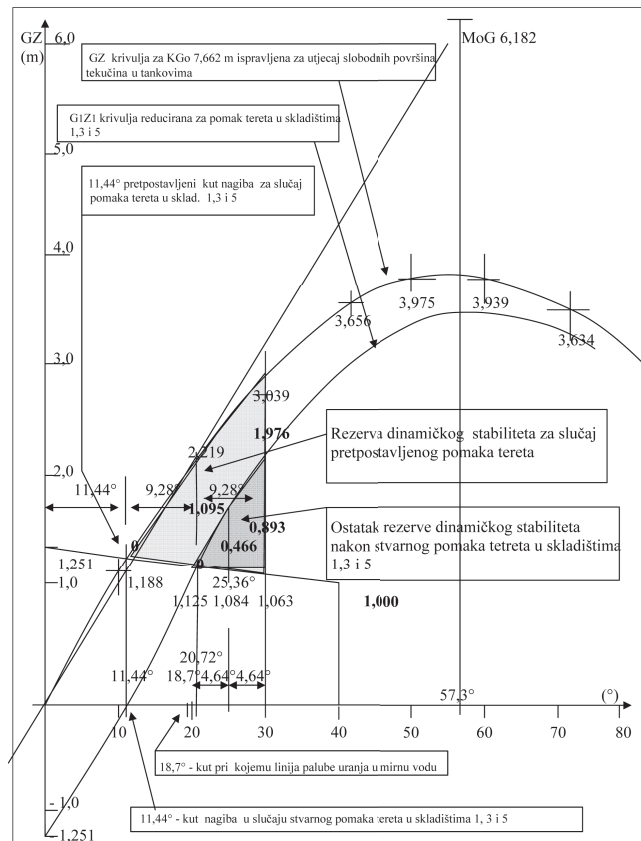
Table 9 Residual dynamic stability for the loading condition as shown on figure 4

Kut (°)	GZ (m) ⁵	λ (m) ⁶	GZ – λ (m)	Faktor Simpsonove formule	Umnožak (m)
11,44	1,188	1,188	0,000	1	0,000
20,72 ⁷	2,220	1,125	1,095	4	4,380
30,00	3,039	1,063	1,976	1	1,976
razmak kut (°) / zbroj umnožaka u metar radijanima			$\frac{9,28^\circ \times 6,356}{3 \times 57,3}$		
Površina između GZ i λ krivulje od 11,44° do 30,00° odnosno rezerva dinamičkog stabiliteta izražena u metar – radijanima			0,343 m – rad. > 0,1 metar-radijana		

Tablica 10. Ostatak rezerve dinamičkog stabiliteta nakon likvifikacije i pomaka tereta u skladištima 1, 3 i 5

Table 10 The remaining residual dynamic stability upon liquefaction and shift of cargo in cargo holds 1, 3 and 5

Kut (°)	GZ (m) ⁸	λ (m) ⁹	GZ – λ (m)	Faktor Simpsonove formule	Umnožak (m)
20,72	1,125	1,125	0,000	1	0,000
25,36 ¹⁰	1,550	1,084	0,466	4	1,864
30,00	1,956	1,063	0,893	1	0,893
razmak / zbroj				$\frac{4,64^\circ \times 2,757}{3 \times 57,3}$	
Površina između GZ i λ krivulje od 20,72° do 30,00° odnosno rezerva dinamičkog stabiliteta izražena u metar-radijanima				0,074 m – rad. $\approx 0,1 \geq 0,1$ metar-radijana	



Slika 5. GZ krivulje, za stanje nakrcanosti prema slici 4 i u slučaju likvifikacije i pomaka tereta u skladištima 1, 3 i 5.

Figure 5 GZ curve for the loading condition shown on figure 4 and in case of actual shift of cargo in cargo holds 1, 3 and 5

³ Kut pri kojemu rub palube uranja u mirnu vodu

⁴ Zahtjev MCA, Load line – Part 8.23.2.1

⁵ Očitano iz dijagrama na slici 5.

⁶ Očitano iz dijagrama na slici 5.

⁷ Dobiveno interpolacijom između kutova 11,44 i 30,00

⁸ Očitano iz dijagrama na slici 5.

⁹ Očitano iz dijagrama na slici 5.