

Opasnosti prijevoza tereta sklonih likvifikaciji morem

Radić, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:914669>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

MATEJ RADIĆ

**OPASNOSTI PRIJEVOZA TERETA
SKLONIH LIKVIFIKACIJI MOREM**

ZAVRŠNI RAD

DUBROVNIK, 2024.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ NAUTIKA

**OPASNOSTI PRIJEVOZA TERETA
SKLONIH LIKVIFIKACIJI MOREM**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Nermin Hasanspahić

Student:

Matej Radić

Komentor:

Tonći Biočić, mag. ing. nav. traff.

DUBROVNIK, 2024.

IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora doc. dr. sc. Nermina Hasanspahića i komentora Tončija Biočića, mag. ing. nav. traff.

Matej Radić:

Potpis

SAŽETAK

Ovaj rad se bavi analizom tereta koji su skloni likvifikaciji. Detaljno je obrađeno o kojim teretima je riječ, koje su karakteristike granularnih, a koje negranularnih tereta, što uzrokuje njihovu likvifikaciju, te po čemu se razlikuju. Rad također analizira pojedine rasute terete, istaknute su njihove opasnosti pri likvifikaciji, navedeno je kako rukovati s takvim teretima i kojih se mjera treba pridržavati kako bi se izbjegle nepovoljne situacije. Pažnja je posvećena količini vlage u teretima i njezinoj ulozi u cjelokupnom procesu. Testiranje sadržaja vlage u teretu u praksi pojašnjeno je testom sadržaja vlage uz pomoć kantice. Prikazano je koji su to brodovi koji prevoze rasute terete, uključujući njihove osnovne podjele i karakteristike. Na to se nadovezuju pomorske nezgode koje su doživjeli brodovi zbog likvifikacije, te je kasnije u radu navedeno koje se preventivne mjere mogu poduzeti kako bi se takva pojava spriječila. Tu se kratko spominje i čvrstoća trupa i njezina uloga pri likvifikaciji, te što se mora uzeti u obzir kod brodova za prijevoz rasutih tereta bez centralne pregrade, a što kod brodova za prijevoz rudača. Na kraju istaknuto je koje su to procedure vezane za teret koje posada mora obaviti prije i tijekom ukrcaja, a koje tijekom plovidbe; sve u cilju sprečavanja nezgoda uzrokovanih fenomenom likvifikacije tereta.

Ključne riječi: likvifikacija, rasuti teret, sadržaj vlage, rudača, test uz pomoć kantice

SUMMARY

This thesis analyzes the behaviour of cargoes that may liquefy. It provides a detailed analysis of the cargoes involved, the characteristics of granular and non-granular cargoes, the causes of their liquefaction and their differences. Additionally, the thesis separately analyzes individual bulk cargoes, highlights the risks they pose due to liquefaction, outlines how to handle such cargoes and specifies the measures to follow to avoid adverse situations. Special attention is given to the cargo moisture content and its role in the overall process. Can test explains how cargo moisture content could be checked in practice. Additionally, the thesis presents the types of vessels that transport bulk cargo, including their basic classifications and characteristics. This is followed by a discussion of incidents involving vessels that experienced liquefaction. Later in the thesis, the preventive measures that can be taken to avoid such occurrences are outlined. The structural integrity of the vessel's hull and its role in liquefaction are briefly mentioned, along with the considerations for vessels transporting bulk cargo without a central bulkhead and those carrying ore. Lastly, the thesis emphasizes the procedures related to cargo that the crew must perform before and during loading, as well as during the voyage, all to prevent accidents caused by the phenomenon of cargo liquefaction.

Key words: liquefaction, bulk cargo, moisture content, ore, can test

SADRŽAJ

| | |
|---|-----|
| IZJAVA..... | i |
| SAŽETAK..... | ii |
| SUMMARY | iii |
| SADRŽAJ | iv |
| 1. UVOD | 1 |
| 2.1. PODJELA KRUTIH RASUTIH TERETA | 3 |
| 2.2. BRODOVI ZA PRIJEVOZ KRUTIH RASUTIH TERETA | 4 |
| 3. RIZIK POMAKA TERETA..... | 7 |
| 4. LIKVIFIKACIJA | 9 |
| 4.1. LIKVIFIKACIJA GRANULARNIH TERETA | 9 |
| 4.2. LIKVIFIKACIJA NEGRANULARNIH TERETA..... | 10 |
| 4.3. SADRŽAJ VLAGE U TERETU | 10 |
| 4.4. TEST SADRŽAJA VLAGE UZ POMOĆ KANTICE (<i>CAN TEST</i>) | 11 |
| 5. TERETI KOJI SE MOGU LIKVIFICIRATI..... | 11 |
| 5.1. FINA ŽELJEZNA RUDAČA I KONCENTRATI ŽELJEZA | 12 |
| 5.2. BOKSIT | 13 |
| 5.3. RUDAČA NIKLA | 14 |
| 6. POMORSKE NEZGODE ZBOG LIKVIFIKACIJE TERETA..... | 17 |
| 7. SPRJEČAVANJE LIKVIFIKACIJE | 21 |
| 7.1. PROCEDURE PRIJE UKRCAJA..... | 21 |
| 7.2. PROCEDURE TIJEKOM UKRCAJA | 22 |
| 7.3. PROCEDURE TIJEKOM PLOVIDBE..... | 23 |
| 7.4. ČVRSTOĆA TRUPA BRODA..... | 23 |

| | |
|---|----|
| 7.4.1. Brodovi (bez središnje pregrade) za prijevoz rasutog tereta..... | 24 |
| 7.4.2. Brodovi za prijevoz rudače | 24 |
| 8. ZAKLJUČAK | 25 |
| POPIS LITERATURE | 27 |
| POPIS SLIKA | 30 |

1. UVOD

U pomorskoj industriji, sigurnost prijevoza tereta jedan je od glavnih i najvažnijih aspekata operativnog procesa. Među različitim vrstama krutih (rasutih) tereta koji se prevoze morem postoje oni koji su skloni likvifikaciji, te kao takvi predstavljaju poseban izazov zbog svoje potencijalne nestabilnosti tijekom prijevoza. Likvifikacija se javlja kada tereti poput rudača, minerala, žitarica ili pijeska, pod utjecajem vlage i vibracija broda prelaze iz čvrstog u tekuće stanje, što može ugroziti stabilnost broda, a time i živote posade. Međunarodni pravilnik za prijevoz krutih rasutih tereta (engl. *International Maritime Solid Bulk Cargoes – IMSBC Code*) definirao je takve terete kao terete koji mogu postati žitki zbog nedopuštene koncentracije vlage, te ih je svrstao u grupu A osnovne podjele krutih rasutih tereta.¹

IMSBC kodeks također propisuje laboratorijsko testiranje i ispitivanje tereta koji može biti sklon likvifikaciji, između ostalog se spominje i test sadržaja vlage uz pomoć kantice ili limenke (eng. *can test*). Pomoću tog jednostavnog ispitivanja može se zaključiti postoji li mogućnost da se teret, kojeg brod ukrcava, likvificira. Takav test može biti samo dopuna laboratorijskim ispitivanjima, nikako njihova zamjena. Predviđeno je da se „*can test*“ radi i tijekom samog ukrcaja tereta, a u radu je opisano kako se test izvodi.²

Maksimalan sadržaj vlage pri kojem znasti teret postaje žitak u radu se spominje kao FMP (engl. *Flow Moisture Point*), dok TML (engl. *Transportable Moisture Limit*) predstavlja 90 % od FMP vrijednosti, odnosno gornju granicu vlage koju teret smije sadržavati. Ako teret ima sadržaj vlage iznad te granice, nije siguran i ne smije ga se krcati na brod.³

Bulk Carrier Casualty Report ima podatak da je od 104 izgubljena života na brodovima za prijevoz rasutih tereta (engl. *bulk carrier*) u razmaku od 2013. do 2022. godine, od njih 70 uzrok bila likvifikacija tereta.⁴ Taj podatak govori koliko likvifikacija može biti kobna za ljudske živote, ali i imovinu i naglašava koliko je bitno poštovati procedure i propisane mjere prilikom prijevoza tereta koji je sklon likvifikaciji.

¹ Bureau Veritas - Marine & Offshore - Reducing the risk of liquefaction

² IMSBC Code

³ Bureau Veritas - Marine & Offshore - Reducing the risk of liquefaction

⁴ INTERCARGO - *Bulk Carrier Casualty Report*

Međutim, u slabije razvijenim zemljama, odnosno njihovim lukama, nerijetko se u takvim situacijama izbjegava laboratorijsko testiranje, te se deklaracija tereta falsificira. To se u više slučajeva pokazalo kao razlog zbog kojeg je došlo do likvifikacije. U radu je opisano nekoliko nezgoda za koje *Bulk Carrier Casualty Report* kao uzrok navodi likvifikaciju tereta, te je objašnjeno što je prethodilo nezgodi i posljedice koje su nastale.⁵

Teret koji zadaje najviše problema je niklova ruda. Cijelo jedno poglavlje posvećeno je prijevozu te vrste tereta morem, te je dana njegova definicija, opisano je kako obaviti operaciju ukrcaja, koji su postupci prilikom, koju potrebnu dokumentaciju brod mora posjedovati, savjeti za izbjegavanje likvifikacije takvog tereta, itd. Također su spomenuti i tereti poput fine željezne rudače, koncentrata željeza i boksita, njihove karakteristike i način krcanja, te po čemu se razlikuju.

Cijeli rad zapravo prikazuje uzročno-posljedičnu vezu iz koje će se moći zaključiti čega se potrebno pridržavati kod prijevoza ovakvih specifičnih rasutih tereta, jer ukoliko se ne budu provodile određene procedure i propisi – posljedice mogu biti katastrofalne.

2. KRUTI RASUTI TERETI

„Kruti rasuti teret (engl. *bulk cargo*), je nepakirana roba, organskog ili anorganskog podrijetla, koja se zbog sipkosti može krcati u rasutom stanju, u prahu, zrnju ili grumenju; pomiče se i stvara slobodne površine pa ugrožava stabilnost broda.“⁶

Poznatiji kruti rasuti tereti su ugljen, željezna rudača, žitarice, sol i drugo. Rasuti teret se krca u brodska skladišta i međupalublje. Takav teret se prevozi u velikim količinama, bez ambalaže, a zbog isplativosti za njih se grade i posebni brodovi. Suhi rasuti tereti često su jedini teret ukrčan na brod koji imaju tri osnovna svojstva⁷:

- Pojavljuju se u sipkom stanju (krupnom ili sitnom obliku);
- Različite su gustoće;
- Mogu se grabiti ili sipati, a da se pritom ne gubi njihova vrijednost.

⁵ Ibid

⁶ Pomorski leksikon (1990), mrežno izdanje

⁷ HandyBulk - <https://www.handybulk.com/bulk-cargo-shipping/>

Među glavnim karakteristikama ovih tereta mogu se izdvojiti⁸:

- Faktor slaganja koji se definira kao omjer kubične mjere i njegove težine i izražava se u kubičnim metrima po metričkoj toni (m³/t);
- Kut rasipanja koji podrazumijeva najveći kut nagiba nekog tereta. Prema IMSBC kodeksu mjeri se kao kut između vodoravne ravnine i nagiba stošca koji čini takav teret;
- Sadržaj vlage, budući da većina krutih rasutih tereta u sebi sadrži vlagu, čiji višak uzrokuje ponašanje tereta kao tekućine.

Sva tri parametra su vrlo bitna prilikom prijevoza rasutog tereta i igraju veliku ulogu u stabilnosti broda. Ipak, u ovom radu glavni fokus će biti na sadržaju vlage.

2.1. PODJELA KRUTIH RASUTIH TERETA

Međunarodni pomorski kodeks za krute rasute terete – IMSBC kodeks donesen je od strane Međunarodne Pomorske Organizacije (engl. *International Maritime Organization* – IMO) i odnosi se na rasute terete koji se prevoze brodovima dizajniranim za prijevoz rasutog tereta. „Kodeks je obavezan prema SOLAS glavi VI. Međutim, Kodeks ne obuhvaća prijevoz žitarica u rasutom stanju, koji je umjesto toga reguliran prema Međunarodnom Kodeksu za siguran prijevoz žitarica u rasutom stanju (engl. *International Grain Code*).“⁹

Osnovna podjela krutih rasutih tereta, prema IMSBC Kodeksu su:

Grupa A - tereti koji mogu postati žitki zbog nedopuštene koncentracije vlage;

Grupa B - tereti koji mogu imati kemijske reakcije;

Grupa C - tereti koji nemaju svojstva kao tereti koji spadaju u grupe A i B.

Rad se bavi teretima koji spadaju u grupu A. Takvi tereti sadrže mali postotak vlage, koja često nije lako zamjetna. Prilikom pomicanja broda na vezu zbog ukrcaja tereta i/ili kretanja broda u plovidbi, teret se toliko zasiti tekućinom da se počne ponašati, odnosno kretati kao tekućina. Prethodno spomenuta glava VI SOLAS konvencije, u dijelu B opisuje kako sigurno rukovati

⁸ Biočić Tonći, Izazovi upravljanja lukama za suhe rasute terete u 21. stoljeću (diplomski rad)

⁹ Međunarodni pomorski kodeks za krute rasute terete (IMSBC Code).

takvim teretima. U njoj se objašnjava na koji način ukrcavati, slagati i iskrcavati takav teret, operacije balastiranja i debalastiranja, sve u svrhu izbjegavanja nezgoda.¹⁰

Za potrebe prijevoza, manipulacije u luci i skladištenja, iznimno je važno poznavati fizičko-tehnološka svojstva krutih rasutih tereta. Ta svojstva su ključna pri projektiranju i izgradnji transportnih sredstava za ove terete. Na temelju tih svojstava, suhi rasuti tereti mogu se podijeliti u dvije osnovne kategorije¹¹:

- Krupni rasuti tereti;
- Sitni rasuti tereti.

Prema ukupnom udjelu u pomorskom prometu, kruti rasuti tereti mogu se podijeliti u dvije skupine¹²:

- Glavni rasuti tereti u koje se ubrajaju željezna rudača, ugljen, žito, boksit, fosfat;
- Sporedni rasuti tereti koji su obično djelomično prerađeni tereti, a u koje se ubrajaju koks, željezo, cement, šećer, kvarc, sol, umjetna gnojiva, sumpor, staro željezo, neobrađeno drvo i slično.

2.2. BRODOVI ZA PRIJEVOZ KRUTIH RASUTIH TERETA

„Brodovima za rasuti teret, također zvanima "*bulkeri*", nazivaju se brodovi koji prevoze nepakirani teret. Ovo je i danas važeća definicija, a brodovi za rasuti teret čine 15 % do 20 % svjetske flote. Moderna definicija odnosi se na njihov specifičan teret, koji je obično jedinstven, slobodno protočan, ali je krut, za razliku od brodova za prijevoz tekućeg tereta. Sve do dolaska prvih kontejnerskih brodova 1950.-ih godina, tereti su bili različito pakirani i prevoženi unutar širokih skladišnih prostora koji su mogli primiti gotovo bilo koji teret, osim onih slobodno tekućih. Glavni problem pomicanja tereta zahtijevao je kompenzaciju za unutarnja premještanja mase u slučaju prekomjernog naginjanja broda. Zbog toga su osmišljeni sustavi

¹⁰ International Convention for Safety of Life at Sea (SOLAS)

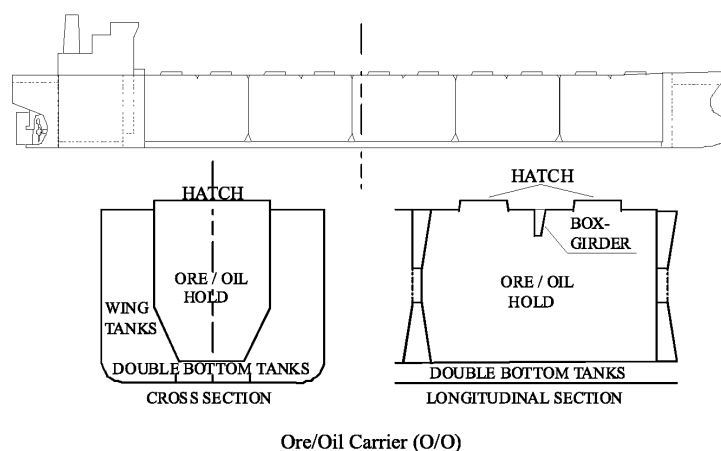
¹¹ Logistische Informationssysteme - <https://www.lis.eu/en/lexikon/bulk-cargo/>

¹² Biočić Tonći, Izazovi u lukama za suhe rasute terete u 21. stoljeću (diplomski rad)

pregrada i balasta kako bi se to nadoknadilo. Rasuti teret također može predstavljati prijetnju brodu zbog spontane zapaljivosti i zasićenja tereta.“¹³

Brodovi za prijevoz rasutih tereta razvili su se iz brodova za prijevoz generalnog tereta, a od 1950. naglo se razvijaju brodovi za prijevoz željezne rudače. Godine 1960. samo ¼ rasutog tereta prevozi se brodovima za prijevoz rasutog tereta, dok se 1980. gotovo cijeli rasuti teret prevozi brodovima za prijevoz rasutog tereta.¹⁴

Svi su moderni brodovi za prijevoz rasutog tereta izgrađeni sukladno SOLAS definiciji. To su brodovi koji imaju jednu palubu i prostrana brodska skladišta. Izgrađeni su sa uzvojnim i potpalubnim bočnim tankovima u skladištu tereta. Po uzdužnom sustavu gradnje građeni su paluba i dvodno, a po poprečnom sustavu gradnje bočna oplata. To znači da se pri gradnji koristi mješovit sustav gradnje. Suvremeni imaju dvostruku, a klasični jednostruku oplatu. Dizajn brodova za rasuti teret ne mijenja se s veličinom, a radi lakšeg rukovanja teretom prilikom ukrcaja i iskrcaja imaju velike otvore na palubi (grotla) (Slika 1.).¹⁵



Slika 1. Poprečni i uzdužni presjek "bulkera" sa pet skladišta.

Izvor: <https://www.cultofsea.com/general/types-of-combination-carriers/>

¹³ Naval Encyclopedia: The Bulk Carriers, <https://naval-encyclopedia.com/civ/bulk-carriers.php>

¹⁴ Stig Tenold, Bigger and Bigger: Shipping During the Golden Age, 1950–73

¹⁵ Štefanić Ema, Tehnologija prijevoza rasutih tereta morem (završni rad)

U današnjoj literaturi, brodovi za prijevoz rasutih tereta mogu se dijeliti na razne načine i svrstavati u pojedinačne skupine. Glavne podjele su prema¹⁶:

- Konstrukcijskoj izvedbi;
- Veličini (nosivosti);
- Području plovidbe;
- Starosti.

Najpoznatija podjela od gore spomenutih je svakako podjela prema veličini. Pošto je ovo cijelo poglavlje uvertira u rad, navesti će se samo podjela brodova prema veličini jer može pridonijeti boljem shvaćanju pojedinih dijelova u nastavku rada.

Brodovi za prijevoz rasutih tereta s obzirom na veličinu, odnosno nosivost (engl. *deadweight* – DWT) dijele se na¹⁷:

- Obalnim brodovima za rasute terete (engl. *coasters*) duljina je do 115 metara, a nosivost do 25000 tona. Opremljeni su s manje od pet brodskih skladišta i prevoze teret u manjim količinama. Njihova putovanja su kratka, obično u dometu obale.
- U *Handysize* skupinu spadaju tipični brodovi za rasuti teret od 25000 do 40000 tona nosivosti, s maksimalnim gazom oko deset metara. Duljina brodova je do 180 metara. Opremljeni su obično s pet brodskih skladišta i četiri teretne dizalice.
- *Handymax* brodovi su slični kao i *Handysize*, samo nešto većih dimenzija i kapaciteta. Maksimalna dužina broda je 190 metara, širina 32 metra, a nosivosti 40000 – 60000 tona. Opremljeni s pet brodskih skladišta i četiri teretne dizalice i četiri grabilice. U ovu skupinu spadaju i *Supramax* brodovi nosivosti od oko 57 000 tona. *Handysize* i *Handymax* brodovi čine oko 70 % ukupne flote „bulkera“. Ova veličina brodova bilježi maksimalnu stopu rasta na današnjem tržištu, a razlog toga su mnoga ograničenja koja se postavljaju na veće brodove, stoga brodarske tvrtke ciljano izrađuju manje brodove. Takvi brodovi mogu pristupiti većini luka i kanala, što povećava njihov opseg trgovačkih sposobnosti.
- *Panamax* brodovi su većih dimenzija s maksimalnom duljinom trupa broda od 225 metara, širinom od 32 metra, te nosivosti 60000 – 80000 tona. Imaju sedam brodskih

¹⁶ Marine Insight - <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-bulk-carriers/>

¹⁷ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/size-range.html>

skladišta i nemaju teretne uređaje. Teret koji prevoze najčešće su ugljen, željezna ruda i žitarice. Predstavljaju se kao dimenzijama najveći brodovi koji mogu na siguran način proći kroz Panamski kanal, po kojem su dobili naziv. U ovu skupinu ubraja se i tzv. *Post-Panamax* brod za suhi rasuti teret koji je nešto veće nosivosti nego klasični *Panamax* brod, 80000 – 120000 tona nosivosti. Obično imaju devet skladišta, također bez opreme za rukovanje teretom.

- *Capesize* su brodovi velikih dimenzija, dužine oko 270 metara, širinom od 43 do 45 metara i nosivosti od 100000 do 200000 tona. Opremljeni su s devet brodskih skladišta, te isto kao prethodnici nemaju brodske dizalice. Prvenstveno služe za prijevoz rudača.
- *Very Large Bulk Carrier (VLBC)* su danas najveći brodovi za prijevoz rasutih tereta, izrazito su velikih dimenzija i duljine trupa od 300 metara, širine veće od 60 metara. Nosivost im je preko 200000 tona. Uglavnom imaju devet ili više brodskih skladišta. Njima se prvenstveno prevozi željezna rudača. Danas postoji još jedna vrsta brodova ovakvih dimenzija i nosivosti - tzv. *ULBC (Ultra Large Bulk Carriers)* poznatiji pod nazivom *Chinamax* ili *Valemax*. To su brodovi velikih dimenzija, dužine trupa oko 360 m i širine oko 65 m. Najveći gazovi ovih brodova iznose 23 m i nosivost im je oko 400000 tona.

Ovdje završavaju općenite podjele rasutih tereta i brodova za njihov prijevoz. Cilj je bio upoznati čitatelja s osnovnim pojmovima kako bi se lakše razumjelo ono što slijedi u nastavku rada.

3. RIZIK POMAKA TERETA

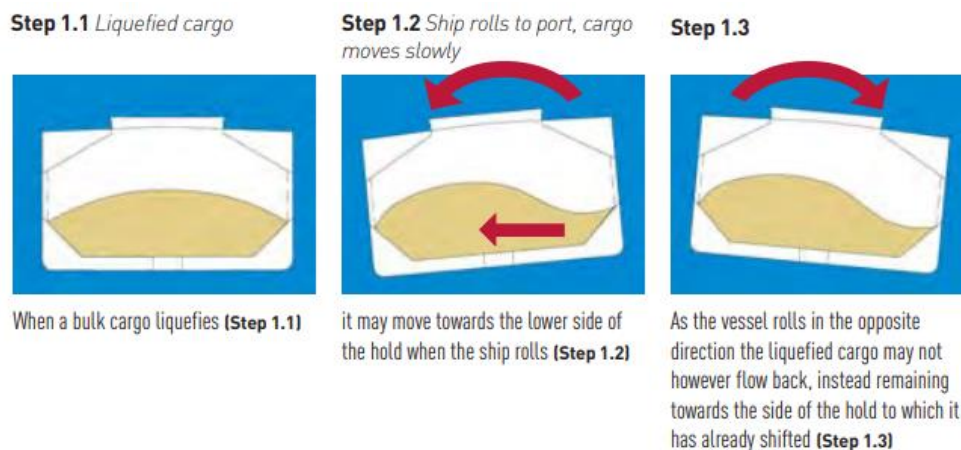
Kada se govori o prijevozu krutih rasutih tereta morem, treba razlikovati dva tipa mogućeg pomaka tereta. Prvi tip pomaka tereta očituje se u presipanju (engl. *sliding failure*) uvjetovanim malim kutom prirodnog priklona (engl. *angle of repose*), manjim od 35°, zastupljenim kod žitarica. Prijevoz žitarica u rasutom stanju morem reguliran je zahtjevima iz Pravilnika za prijevoz žitarica u rasutom stanju (engl. *Code of Practice for the Safe Carriage of Grain in Bulk – Grain Code*), s kriterijima o pitanju stabiliteta kojima mora udovoljavati brod nakrcan žitaricama 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, djeluju vanjske sile, poput pritiska viših slojeva tereta, vibracija 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 djelovanja vanjskih sila, poput vibracija, tlaka i slično, zrak u međuprostoru između čestica zamjenjuje voda. Rastom tlaka te vode smanjuju se kohezijske sile i materijal/teret postaje viskozan i sklon pomaku.¹⁸

Tako se teret koji se 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 (Slika 2.). 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 posljedicu¹⁹:

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



Slika 2. Utjecaj likvifikacije tereta na stabilnost broda.

Izvor: Bureau Veritas - Marine & Offshore - Reducing the risk of liquefaction.

Na Slici 2. lijevo prikazan je teret koji se likvificirao. Srednja sličica prikazuje fazu u kojoj se brod naginje ulijevo, a teret prati nagib broda. Na desnoj sličici brod se naginje u suprotnu

¹⁸ A. Kristić i M. Randić: Prijevoz krutih rasutih tereta morem koji su skloni likvifikaciji

¹⁹ Ibid

stranu, a teret ostaje nagnut u stranu na koju se prvotno nagnuo. To dodatno negativno utječe na stabilnost broda.

4. LIKVIFIKACIJA

Neki tereti postaju žitki gotovo odmah nakon odlaska iz luke ukrcaja, a na neki tek nekoliko tjedana kasnije, nakon naizgled mirne plovidbe. Iako je rizik od likvifikacije veći tijekom lošeg vremena, na uzburkanom moru i pri punoj brzini, ne postoje sigurni uvjeti plovidbe za teret s nesigurnim sadržajem vlage. Likvifikacija se ne može predvidjeti, čak i kad je brod na sidru ili u sporoj plovidbi. S obzirom na tu nepredvidost, bitno je u svakom trenutku voditi računa o vremenskim prognozama i stanju mora. Za nevremena, brod može biti izložen udarima vjetera i valova koje mogu potaknuti likvifikaciju ukoliko razina vlage u teretu nije ispod gornje granice (TML).²⁰

4.1. LIKVIFIKACIJA GRANULARNIH TERETA

Postoje dva preduvjeta za nastajanje likvifikacije granularnih tereta. Prvi je da se teret treba sastojati od sitnih čestica, a drugi je da treba biti prisutna minimalna razina vlage. Likvifikacija je moguća jedino ako su oba uvjeta ispunjena. U većini slučajeva tereti koji se prevoze kombinacija su sitnih, finih i velikih čestica između kojih ima mješavine vlage, vode i zraka. Kad je teret u krutom stanju, odnosno nije žitak (likvificiran), čestice tereta će biti u kontaktu jedna s drugom. Sila trenja između čestica daje teretu fizičku čvrstoću. Tijekom putovanja teret će se zbijati zbog kretanja broda, udaraca valova i drugih uzrokovanih vibracija. To znači da će se razmak između pojedinih čestica smanjiti. Smanjeni prostor će dovesti do povećanog pritiska u vodi koja se nalazi među česticama, budući da ograničena propustnost tereta zbog finih čestica sprječava odvod vode. Nakon zbijanja, ako je količina vode veća od razmaka između čestica tereta, povišeni tlak će razbiti čestice, a sila trenja između njih će nestati. Teret će tada izgubiti smičnu čvrstoću i postati će tekućina. Problemi s likvifikacijom granularnih materijala najčešće se pojavljuju nedugo nakon ukrcaja. Nadalje, obično se samo dijelovi tereta likvificiraju istodobno, što u većini slučajeva dovodi do djelomične likvifikacije. Ukapljeno

²⁰ The Maritime Executive - <https://maritime-executive.com/editorials/the-risk-of-cargo-liquefaction>

stanje je prolazno stanje koji obično traje ograničeno vrijeme. Nakon nekog vremena, teret se ponovno smiruje u kompaktnije stanje, s manjom mogućnošću likvifikacije.²¹

4.2. LIKVIFIKACIJA NEGRANULARNIH TERETA

Likvifikacija vrlo finih, glinenih materijala kao što su niklova rudača uglavnom se razlikuje od granularnih materijala, ali ipak, rezultati u smislu opasnosti za brod su usporedivi. Kod granularnih tereta povišeni tlak vode je glavni uzrok likvifikacija. Kod negranularnih tereta uzrokom se može smatrati opterećenost tereta prilikom prijevoza. Nakon velikog broja stresnih ciklusa zbog kretanja broda, utjecaj valova i ostalih vibracija, kohezija i čvrstoća materijala iznenada se smanjuju. Budući da je potreban veliki broj ciklusa stresa, problemi likvifikacije se mogu javiti nekoliko dana ili tjedana nakon ukrcaja tereta. Druga razlika od likvifikacije granularnih tereta je u tome da cjelokupan teret na brodu može istovremeno postati žitak. Također, brod je jako teško dovesti u stabilno stanje nakon likvifikacije. Važno je napomenuti nedavne izmjene i dopune iz IMSBC kodeksa vezano za ove terete. Do 2015. godine, u IMSBC kodeksu je bilo naznačeno da se likvifikacija nije dogodila ako je teret sadržavao vrlo male čestice. Od 1. siječnja 2015. ta rečenica je uklonjena i više ne postoji u IMSBC kodeksu.²²

4.3. SADRŽAJ VLAGE U TERETU

Dodatak 2. IMSBC kodeksa regulira postupke tesitranja i ispitivanja rasutih tereta koji se mogu likvificirati. *Free Moisture Point* (FMP) predstavlja maksimalan sadržaj vlage pri kojem teret gubi smičnu čvrstoću. Izražen je u postotcima, a tereti koji sadržavaju vlagu iznad FMP granice mogu biti skloni likvifikaciji. Prethodno je definirano što je TML i on se u ovom kontekstu može definirati kao 90 % od FMP. Ukrcaj tereta sa sadržajem vlage iznad, na ili blizu FMP predstavlja neprihvatljivo visok rizik za brodove, zbog toga je TML granica koja predstavlja dopuštenu sigurnosnu razinu vlage u teretu. Također, SOLAS konvencija propisuje da sadržaj bilo kakvog rasutog tereta u skladištima ne smije biti viši od TML. Kako bi se odredio TML najprije se laboratorijski mora utvrditi FMP. Testom sadržaja vlage u teretu uz pomoć kantice (engl. *can test*) može se približno utvrditi razinu vlage u teretu, ali je bitno napomenuti da on ne može biti zamjena, već samo dopuna laboratorijskim istraživanjima.²³

²¹ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL

²² Ibid

²³ Ibid

Međutim, posada broda odnosno zapovjednik ne mogu znati jesu li postupci utvrđivanja i ispitivanja koje koriste pošiljatelji točni. U nekim slučajevima, kao što je kod prijevoza niklove rudače, problem može biti ne samo u tehnikama ispitivanja, već i u nehomogenoj prirodi samog tereta, što otežava određivanje FMP vrijednosti, jer su tehnike ispitivanja koje su navedene u IMSBC kodeksu predviđene za homogene terete.²⁴

4.4. TEST SADRŽAJA VLAGE UZ POMOĆ KANTICE (CAN TEST)

North P&I Club, engleski osiguravatelj pomorske odgovornosti, predstavio je serije kratkih trening paketa kako bi pomogao pomorcima da izbjegnu faktore koji doprinose nezgodama na radnom mjestu, kao i neplaniranim događajima koji mogu dovesti do ozljede ili štete. Prvi trening paket uključuje „*can test*“, uz pomoć kojega se može procijeniti je li teret koji se ukrcava na brod potencijalno nesiguran za prijevoz. Paket uključuje i pozadinske informacije, sadržaj i upute kako bi podržao članove posade u provođenju obuke „*can testa*“.²⁵

Testiranje se vrši uz pomoć obične cilindrične kantice kapaciteta pola litre ili jedne litre koja se do pola napuni teretom. Kantica se podigne jednom rukom na visinu od 20 centimetara i naglo se spusti da udari od tvrdu površinu. Taj postupak se ponavlja 25 puta u intervalima od jedne do dvije sekunde. Ako su čestice tereta nakon testiranja ostale slobodne, razina tereta se nije spustila i nije se pojavila voda na površini – teret je ispravan. Ako je razina tereta pala, voda je isplivala na površinu i teret se giba po kantici kao tekućina – teret nije ispravan.²⁶

Ako je moguće, potrebno je fotografirati svaki odrađeni test za vlastitu evidenciju, voditi zapisnik provedenih testova i njihovih rezultata. Preporučuje se da se testiranja izvode i za vrijeme ukrcaja tereta. Bitno je znati da testiranje ne potvrđuje da je teret siguran za krcanje, već da postoji vjerojatnost da je nesiguran.²⁷

5. TERETI KOJI SE MOGU LIKVIFICIRATI

Kako je prethodno spomenuto, IMSBC kodeks dijeli terete u tri grupe, a rad se bavi grupom A, odnosno teretima koji mogu postati žitki zbog nedozvoljene koncentracije vlage u sebi.

²⁴ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/Testing-of-Cargo.html>

²⁵ The North of England P&I Association, Bulk Cargo Liquefaction - The Can Test

²⁶ Ibid

²⁷ Ibid

Većina tereta iz Grupe A su različite vrste mineralnih koncentrata. Takvi tereti posljednjih godina nisu prouzrokovali značajnije nezgode, najvjerojatnije zbog svoje ujednačene prirode, njihovih svojstava i stanje koji su dobro kontrolirani. Međutim, u grupu A također spadaju i neobrađene rudače koje se povezuju s nizom nezgoda.²⁸ Najčešći i najopasniji tereti opisani su u nastavku.

5.1. FINA ŽELJEZNA RUDAČA I KONCENTRATI ŽELJEZA

Fine željezne rudače imaju veliki udio malih čestica (10 % čestica manjih od 1 mm i 50 % čestica manjih od 10 mm). Teret je sklon likvifikaciji ukoliko sadržaj vlage prijeđe TML. Faktorom koji doprinosi nezgodama smatra se pogrešna kategorizacija tereta kao obične željezne rudače, koja prema IMSBC kodeksu ne predstavlja nikakav rizik od likvifikacije. Željezni koncentrat je željezna rudača koja je obrađena kako bi se povećao sadržaj željeza. Materijal je vrlo zrnat i nosi isti rizik u pogledu likvifikacije kao i fina željezna rudača, iako se, tehnički gledano, radi o dvije drukčije vrste tereta. Postoje izvješća o likvifikaciji željeznog koncentrata poslanih iz brazilskih luka gdje pošiljatelji deklariraju željezni koncentrat kao teret Grupe C prema IMSBC kodeksu. To kategorizira teret kao onaj koji nije sklon likvifikaciji, pa pošiljatelji ne moraju dostaviti rezultate ispitivanja za sadržaj vlage, njihov TML i FMP. Koncentrat željeza je u IMSBC kodeksu naveden kao mineralan teret i prema tome se smatra sklonim likvifikaciji.²⁹

Većina nezgoda brodova za rasuti teret dogodile su se tijekom prijevoza željezne rudače, stoga je potrebno voditi računa o homogenosti tereta i načinju njegovog krcaja, odnosno skladištenja. Željezna rudača je teški teret koji zauzima malu površinu, tj. imaju nizak faktor skladištenja (između 0,20-0,80 m³/t), stoga je važno da podnica skladišta bude dovoljno čvrsta. Željezna rudača obično se krca u sredinu skladišta gdje se formira hrpa i postepeno širi. Iako mnogi terminali još uvijek imaju fiksnu opremu za ukrcaj broda, moderniji imaju mogućnost kretanja duž obale, te na taj način mogu dosegnuti sve dijelove skladišta, čime se osigurava ravnomjerna raspodjela tereta po podnici skladišta, te se na taj način izbjegava njezina preopterećenost podnice. Brza ukrcajna rata također može pridonijeti prekomjernim naprezanjima. Teret željezne rudače ukrcan na brod za rasuti teret povećava metacentarsku visinu broda i čini ga „krutim“. Tijekom ukrcaja i iskrcaja takvog tereta stvaraju se značajne

²⁸ Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION

²⁹ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL

količine prašine koje mogu oštetiti brodsku opremu i ugroziti zdravlje posade, stoga i o tome treba voditi računa. Pretpostavlja se da željezna rudača ima homogeni sadržaj vlage između 0-16 %, međutim, ako se teret drži na otvorenom, sadržaj vlage može porasti zbog apsorpcije iz zraka li kiše. Ako je stvarni sadržaj vlage nepoznat, može biti potrebno ispitivanje u laboratoriju. Kapetan od pošiljatelja mora zatražiti detalje o sadržaju vlage u teretu i TML.³⁰

5.2. BOKSIT

Boksit je aluminijska ruda i glavni izvor aluminija. Vadi se u otvorenim rudnicima, a zatim se pretvara u aluminijev oksid koji se daljnjom elektrolizom prerađuje u čisti aluminij. Boksit se smatra jednim od najvažnijih rasutih tereta, a glavni uvoznik mu je Kina. Do siječnja 2014. indonezijski boksit činio je otprilike 2/3 kineskog uvoza, no kasnije je Indonezija zabranila izvoz neobrađenih ruda, stoga je Kina počela nabavljati boksit s drugih lokacija. Obično se boksit otprema bez ikakve obrade, međutim, u nekim se slučajevima rudača prosijava kako bi se uklonili veliki komadi. Boksit je naveden kao teret Grupe C IMSBC kodeksa, što znači da ne predstavlja rizike likvifikacije. Tu se misli samo na suh i krupnozrnat boksit, dok je onaj koji sadrži veliki udio praha i ima sadržaj vlage iznad 10 % potencijalno nesiguran.³¹

Prije ukrcaja boksita potrebno je ukloniti sve čvrste ostatke prethodnog tereta, temeljito počistiti i isprati skladišta morskom vodom pod tlakom. Ovisno o prethodnom teretu i stanju premaza u skladištima, može biti potrebno i pranje dodatnim sredstvima. Kada je faktor skladištenja jednak ili manji od 0,56 m³/t, može doći do preopterećenja podnice skladišta, te je potrebno teret ravnomjerno rasporediti po skladištu. Sadržaj vlage je ključan i može doći do likvifikacije, stoga se prije utovara moraju provjeriti relativna fizička svojstva tereta, uključujući sadržaj vlage. Poravnanje tereta je obavezno prema odredbama iz odjeljaka 4. i 5. IMSBC kodeksa. Tijekom plovidbe potrebno je redovno provjeravati izgled površine tereta, uključujući svakodnevne vizualne inspekcije gdje uvjeti to dopuštaju. Ako se tijekom plovidbe primijeti slobodna voda ili tekuće stanje tereta, zapovjednik mora poduzeti odgovarajuće mjere kako bi spriječio pomicanje tereta i gubitak stabilnosti zbog efekta slobodnih površina u

³⁰ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/iron-ore.html>

³¹ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/bauxite-loading.html>

skladištu koje mogu prevrnuti brod. Kaljuže u skladištima tereta treba redovito provjeravati i ispumpavati po potrebi.³²

5.3. RUDAČA NIKLA

Niklova rudača smatra se najopasnijim od svih rasutih tereta, a sumnja se da je od 2010. odnijela živote 82 pomoraca, što je velika brojka s obzirom na to da trgovina takvim tipom tereta iznosi tek 2 % ukupne trgovine rasutim teretom.³³ Stoga je malo više pozornosti posvećeno niklovoj rudači u usporedbi s prethodno naznačenim rudačama željeza i boksita.

Filipini i Indonezija najveći su izvoznici niklove rude, ali nakon indonezijske zabrane izvoza određenih neprerađenih ruda 2014., Filipini postaju daleko najveći izvoznik. Velika većina niklove rude šalje se u Kinu, gdje se koristi za proizvodnu nehrđajućeg čelika, dok samo mali dio odlazi u Europu.³⁴

Nekoliko je razloga zašto je likvifikacija tako velik problem za niklovu rudaču. Rudača se kopa iz otvorenih rudnika i niske je kvalitete (1 % nikla i 99 % sitnozrnato tlo). Tijekom sezone monsuna rudača može biti vrlo mokra, a mokri, sitnozrnati materijali skloni su likvifikaciji. Također se razlogom likvifikacije niklove rudače smatra to što se većina rudnika nalazi u vrlo udaljenim područjima što otežava TML testiranja.³⁵

Nikal laterit je rudača nikla niskog stupnja koja se sastoji od zemlje s visokim postotkom željeznog oksida (to mu daje crvenkastu boju) i 1-3 % nikla. Takva vrsta rudače ima visok postotak vlažnosti koji se kreće od 30-40 %. Nikal sam po sebi ne može biti homegen, već ga se nalazi u obliku gline gdje ga ima u malim količinama. Postoje dva oblika: limonit i saprolit. Razlikuju se u fizičko-kemijskim aspektima, ali predstavljaju iste probleme prilikom prijevoza. Obje vrste rudače sadrže oko 30 % vlage. Da bi se teret isušio potrebno je postaviti sušilice u samom rudniku ili u neposrednoj blizini. Isušivanje rudače rezultira stvaranjem prašine, što predstavlja problem, ali dosta manji nego sadržaj vlage u teretu. Prema informacijama na tržištu, nijedna firma još nije ugradila postrojenja za isušivanje ove rudače, pa zbog toga brodari nemaju izbora nego prevoziti rudaču u vlažnim uvjetima. Postoji opasnost otapanja

³² Ibid

³³ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL

³⁴ Ibid

³⁵ TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Volume 16 – Number 1

rudače koja je izložena kiši, stoga treba voditi računa da se pravilno skladišti. Ako se rudača sprema na otvorenom, gdje čeka usitnjavanje, potrebno je pokriti teret slojem plastičnih folija kako bi bio zaštićen od kiše. Gradnja krovova nad velikim skladištima velika je investicija, stoga se u praksi koristi ova metoda.³⁶

Prije samog ukrcaja tereta potrebno je provjeriti jesu li zalihe tereta na obali i barže koje se ukrcavaju pravilno prekrivene ceradama. Kada teret nije dovoljno prekriven, postoji mogućnost nakupljanja kišnice na dnu tereta. Uzorak tereta s dna potrebno je zasebno testirati prije ukrcaja kako bi se utvrdio sadržaj vlage.³⁷ Na Slici 3. prikazan je ukrcaj niklove rudače u skladište broda a na Slici 4. prikazano je brodsko skladište s niklovom rudačom koja je postala žitka.



Slika 3. Krcanje rudače nikla u skladište.

Izvor:

<https://www.iims.org.uk/dangers-carrying-nickel-ore-cargo-indonesia-philippines-highlighted/>



Slika 4. Rudača nikla nakon likvifikacije.

Izvor:

<https://www.lloydslist.com/LL1139145/Climate-change-increases-risk-of-liquefaction-of-bulk-cargoes>

Dokumentacija koja se dostavlja na brod za ovaj teret često je neadekvatna i ne upozorava posadu na potencijalni rizik od likvifikacije. Postoje primjere kada brodari nisu zapovjedniku pružili dovoljno informacija o teretu, a u nekoliko slučajeva je predana dokumentacija za teret koji je ukrcan na potpuno drugi brod. Karakteristike rudače i njezin sadržaj vlage posebno variraju tijekom sezonskih klimatskih promjena. Brodari su odgovorni osigurati da informacije o teretu budu ažurirane, važeće i točno određene. Za terete niklove rude koji mogu biti skloni

³⁶ Uwe König, Nickel Laterites - Mineralogical Monitoring for Grade Definition and Process Optimization

³⁷ Standard Club - Guidelines for the safe carriage of Nickel Ore

likvifikaciji, informacije moraju uključivati sadržaj vlage i TML. Metode ispitivanja za terete sklone likvifikaciji, opisane u Dodatku 2. IMSBC Kodeksa, služe za procjenu prikladnosti tereta rudače s maksimalnom veličinom zrna od 7 mm. Ne pružaju nužno zadovoljavajuće rezultate za materijale s visokim sadržajem gline. Niklova rudača, osobito lateritna niklova rudača, sadrži oboje. U nedavnim slučajevima na Filipinima nađeni su certifikati gdje se navodi da je teret testiran u skladu s metodama IMSBC Kodeksa, međutim nisu navedeni parametri FMP i TML, nego samo prosječaj sadržaj vlage. Nepotrebno je reći da nije moguće procijeniti sigurnost i prikladnost tereta na temelju takve nepotpune deklaracije.³⁸

Razlika između sadržaja vlage i TML vrijednosti često je zbunjujuća što dovodi do besmislenih izjava poput „TML tereta je porastao zbog kiše.“ TML tereta ovisi isključivo o vrsti i sastavu tereta, a ne o tome je li teret suh ili mokar.

Ništa ne može zamijeniti potpuno pridržavanje propisa IMSBC Kodeksa, ali osim toga sljedeći faktori su relevantni kad je riječ o likvifikaciji³⁹:

- Brodovi koji prevoze niklovu rudaču su Handysize brodovi, koji su zbog svojih dimenzija skloniji likvifikaciji odnosno naginjanju.
- Loši vremenski uvjeti pojačavaju ljuljanje i naginjanje broda, što povećava vjerojatnost i ozbiljnost likvifikacije.
- Istraživanja i analiza prethodnih slučajeva nezgoda pokazuju da se likvifikacija obično događa nakon više od 12 sati kontinuiranog u uvjetima snage vjetra od 6-7 Bofora.
- Pramčana skladišta tereta izloženija su većim naprezanjima, stoga, likvifikacija češće počinje u skladištima No 1, 2 i 3.
- Posrtanje broda vjerojatnije uzrokuje likvifikaciju nego valjanje, međutim, kada dođe do likvifikacije, ljuljanje može uzrokovati pomak tereta, što predstavlja veću opasnost za brod.

Planiranje plovidbe i navigacijske mjere⁴⁰:

³⁸ The North of England P&I Association, Bulk Cargo Liquefaction and Dynamic Separation

³⁹ SKULD – <https://www.skuld.com/topics/cargo/solid-bulk/cargo-liquefaction/best-practices-and-safety-considerations-for-nickel-ore-shipments/>

⁴⁰ Ibid

- Procijeniti vremenske i morske uvjete prije isplovljavanja broda i pripremiti plan putovanja kako bi se izbjegla plovidba u lošim vremenskim uvjetima gdje je snaga vjetra iznad 6-7 Bofora, pokušati izbjeći tajfune i tropske oluje.
- Izbjegavati ili minimalizirati naginjanje broda uzrokovano vjetrom i valovima na način da prema tome prilagodimo kurs i brzinu.
- Provjeriti stanje tereta u svakom skladištu dva puta dnevno kada vremenski uvjeti dopuštaju, zabilježiti i izvijestiti o stanju tereta
- Ako se otkrije likvifikacija, prijaviti je i poduzeti hitne mjere za smanjenje posrtanja i valjanja, ploviti blizu obale i odabrati najbližu luku skloništa.

U ovom poglavlju su navedene mjere predostrožnosti i postupci pri likvifikaciji tereta niklove rudače. U nastavku rada će se naznačiti o čemu je potrebno voditi računa u pogledu čvrstoće i elastičnosti trupa broda, te koje se mjere moraju poduzeti prije i tijekom ukrcaja, a koje za vrijeme putovanja, kako ne bi došlo do likvifikacije.

6. POMORSKE NEZGODE ZBOG LIKVIFIKACIJE TERETA

Brodovi za rasuti teret su u središtu globalne trgovine, prevozeći željezo, čelik, ugljen, cement i žitarice. Prema tome potrebno je poduzeti sve moguće mjere da bi se oni i njihov teret zaštitili od oštećenja i gubitaka, te unaprijedila sigurnost pomoraca. Ulog je velik, s obzirom na ogromne investicije koje vlasnici i operateri ulažu u izgradnju i upravljanje brodovima u zahtjevnom okruženju otvorenog mora i užurbanih, često zagušenih luka. Izvještaji pokazuju da je između 2013. i 2022. godine izgubljeno 26 brodova za kruti rasuti teret preko 10000 bruto tona, uz tragičan gubitak života 104 pomorca. Analiza tih incidenata ističe da su glavni uzroci likvifikacija tereta i nasukavanja. Likvifikacija tereta je najveći uzrok gubitaka života, dok su nasukavanja glavni uzrok gubitka brodova.⁴¹

Na Slikama 5.-8. prikazani su isječci izvještaja o pomorskim incidentima brodova zbog likvifikacije.

⁴¹ INTERCARGO - Bulk Carrier Casualty Report

| Name | IMO No. | Incident Date | Deadweight | Built | Flag | Class | Loss of life |
|----------------|---|---------------|------------|-------|--------|-------|--------------|
| Harita Bauxite | 8383664 | 17-Feb-13 | 48891 | 1983 | Panama | RINA | 15 |
| | Reported cause: Cargo liquefaction (Likely root cause: cargo liquefaction) - cargo liquefaction caused the sinking of Harita Bauxite carrying 47,450 metric tons of nickel ore from Indonesia, with the loss of 15 seafarer lives. | | | | | | |
| | Investigation report on IMO GISIS: available on 2015.08.17 (30 months from incident date) | | | | | | |

Slika 5. Izvještaj o nezgodi broda Harita Bauxite.

Izvor: INTERCARGO - Bulk Carrier Casualty Report.

| Name | IMO No. | Incident Date | Deadweight | Built | Flag | Class | Loss of life |
|--------------|--|---------------|------------|-------|---------|-------|--------------|
| Bulk Jupiter | 9339947 | 02-Jan-15 | 56009 | 2006 | Bahamas | NK | 18 |
| | Reported cause: Cargo liquefaction (Likely root cause: cargo liquefaction) - Bulk Jupiter sank and 18 crew lost with bauxite cargo onboard loaded in Kuantan, Malaysia, attributed to liquefaction/dynamic separation of the cargo. | | | | | | |
| | Investigation report on IMO GISIS: Available on 2016.8.18 (7 months from incident date) | | | | | | |

Slika 6. Izvještaj o nezgodi broda Bulk Jupiter.

Izvor: INTERCARGO - Bulk Carrier Casualty Report

| Name | IMO No. | Incident Date | Deadweight | Built | Flag | Class | loss of life |
|--------------|---|---------------|------------|-------|------------------|-------|--------------|
| Emerald Star | 9449261 | 13-Oct-17 | 57367 | 2010 | Hong Kong, China | DW GL | 18 |
| | Reported cause: Cargo liquefaction (Likely root cause: cargo liquefaction) - loaded with nickel ore cargo from Bali, Indonesia, cargo liquefaction and shifting occurred onboard Emerald Star causing the vessel heavily listed and finally capsized and sank approximately in position 19°03'N, 124°52'E at about 0140 hours on 13 October 2017. 16 crew members were rescued with 10 crew members missing. | | | | | | |
| | Investigation report on IMO GISIS: available on 2021.06.02 (44 months) | | | | | | |

Slika 7. Izvještaj o nezgodi broda Emerald Star.

Izvor: INTERCARGO – Bulk Carrier Casualty Report.

| Name | IMO No. | Incident Date | Deadweight | Built | Flag | Class | Loss of life |
|-----------|--|---------------|------------|-------|-----------|-------|--------------|
| Nur Allya | 9245237 | 20-Aug-19 | 52178 | 2002* | Indonesia | NK | 27 |
| | Reported cause: Cargo liquefaction (Likely root cause: cargo liquefaction) - carrying nickel ore from Weda island (North Maluku) to Morosi (southeast Sulawesi), Indonesia, Bulk carrier Nur Allya disappeared near Buru Island in Maluku on 20 Aug 2019, with all the 27 seafarers onboard drowned. Authorities located the missing bulk carrier Nur Allya - 843 meters beneath the ocean, in the eastern 'spice islands' of Maluku in Oct 2019. | | | | | | |
| | Investigation report on IMO GISIS: available on 2021.11.12 (27 months) (Note: some sections in English and some in Bahasa Indonesia) Note*. The Certificate of Nationality states that her YOB is 2001, while both Equasis and her class Certificates state 2002 as the YOB. | | | | | | |

Slika 8. Izvještaj o nezgodi broda Nur Allya.

Izvor: INTERCARGO - Bulk Carrier Casualty Report.

Posljednja velika nezgoda uzrokovana likvifikacijom tereta dogodila se 2019. kad je brod pod zastavom Indonezije Nur Allya potonuo kod otoka Buru u Malukuu. Svih 27 članova posade

je izgubilo svoje živote. Brod je prevezio niklovu rudaču. Dvije godine ranije, 2017. godine, kineski brod Emerald Star izgubljen je u Pacifiku nakon što se teret niklove rudače likvificirao. Brod se prevrnuo i potonuo, poginulo je 10 članova posade.⁴²

IMSBC Kodeks propisuje da se teret mora testirati kako bi se pokazalo da ima dovoljno nisku vlažnost kako bi se likvifikacija spriječila. U praksi se zna dogoditi da otpremnici zaobiđu tu obavezu i umjesto toga falsificiraju deklaraciju tereta. U određenim lukama testiranja nisu onakva kakva bi trebala biti za takvu vrstu tereta, odobri ih se za transport, a u stvarnosti su nesigurni. To su jedni od propusta koji se događaju, što rezultira incidentima zbog likvifikacije.⁴³

Na Slici 9. prikazani su glavni uzročnici nezgoda brodova za prijevoz rasutih tereta od 2013. do 2022. godine.

Losses by cause

| Reported cause | Losses of life | Losses of ships | Likely root cause | Losses of ships |
|--------------------|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Cargo liquefaction | 70 | 5 | Cargo liquefaction | 5 |
| Cargo shift | 0 | 1 | Unknown | 1 |
| Fire/explosion | 0 | 2 | Human element | 1 |
| | | | Unknown | 1 |
| Flooding | 22 | 3 | Structural | 1 |
| | | | Unknown | 2 |
| Grounding | 0 | 12 | Human element | 9 |
| | | | Weather | 1 |
| | | | Navigation | 2 |
| Collision | 0 | 1 | Unknown | 1 |
| Weather | 12 | 2 | Machinery failure | 1 |
| | | | Unknown | 1 |
| TOTAL | 104 | 26 | | 26 |

Slika 9. Temeljni uzročnici neugoda brodova za rasute terete od 2013. do 2022. godine.

Izvor: INTERCARGO - Bulk Carrier Casualty Report.

Sa Slike 9. je razvidno da je u razmaku od 2013. do 2022. godine 104 ljudi izgubilo živote u nezgodama na brodovima za rasute terete. Likvifikacija tereta je uzročnik čak 70 izgubljenih života, što je drži visoko na prvom mjestu uzroka katastrofalnih nezgoda.

Prema INTERCARGO menadžeru za operacije postoji napredak u unaprjeđenju sigurnosti, ali je još uvijek očito da treba više učiniti kako bi pomorski promet bio sigurniji. Potrebno je

⁴² The Royal Institution of Naval Architects - <https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/cargo-liquefaction-is-largest-cause-of-deaths-in-dry-bulk-sector-according-to-report/>

⁴³ West of England P&I Club — IMSBC Code: International Maritime Solid Bulk Cargoes

nastaviti učiti na koje načine najbolje zaštititi živote pomoraca, te kako spriječiti oštećenja brodova i gubitak tereta.⁴⁴

Bulk Carriers Casualty Reports navodi da su pomorske nezgode na Slikama 5.-8. rezultat likvifikacije, od toga su tri broda prevozila niklovu rudaču, a jedan teret boksita. U nekim situacijama se uzrok nezgode pripisuje ljudskom faktoru, neispravnosti opreme, vremenskim uvjetima, ali činjenica je da je u određenim nezgodama, bila ona glavni uzročnik ili ne, likvifikacija „odigrala“ svoju ulogu. Stoga, služeći se drugim izvorima, navedene su nezgode gdje je likvifikacija tereta bila prisutna i opisan je tijek događaja.

Teretni brod *Vinalines Queen* potonuo je 25. prosinca 2011. dok je prevezio 54 000 tona niklove rudače iz Indonezije u Kinu. Vjeruje se da su loše vremenske prilike, likvifikacija tereta i pogrešna procjena kapetana bili razlozi nesreće. Spašen je samo jedan od 23 člana posade.

Rudača je bila ukrcana dizalicama u luci od strane lokalnih radnika. Navedeno je da se brod prije nestanka nagnuo za 18°, a sat vremena prije toga 20°. Kako je navedeno, razlog nagiba je nepoznat i brod je bio izložen jakim vjetrovima. Kad je brod počeo gubiti stabilnost, zapovjednik je naredio ispumpavanje balasta. Ova mjera nije bila učinkovita i uzrokovala je dodatne poteškoće. Zapovjednik je također pogriješio prilikom mijenjanja kursa broda jer su valovi pri tome uzrokovali još veće valjanje broda. Još je jedan mogući negativan čimbenik bila povezanost između količine tereta i kapaciteta broda. Brod je bio maksimalnog kapaciteta od 56040 tona, a bilo je ukrcano 54 000 tona niklove rudače, što znači da zapovjednik i prvi časnik nisu obraćali pozornost na stopu potencijalne likvifikacije tereta.⁴⁵

Mongolski brod *Black Rose*, 9. rujna 2009., krcao je 23847 tona željezne rudače u luci Paradip na istočnoj obali Indije. Prilikom ukrcanja brod se nagnuo 20° udesno, a kasnije se nagib povećao na 30°. Prema izvješću, brod je bio ukrcan s teretom u kojem je bilo viška vlage. Službenim uzrokom nezgode navodi se gubitak stabilnosti zbog pomicanja tereta s visokim udjelom vlage. U početku se kapetan broda usprotivio ukrcanju tereta, međutim agent broda u Indiji nije uvažio njegovu pritužbu. Brod se kontinuirano naginjao udesno i konačno prevrnuo

⁴⁴ The Naval Architect by Tom Barlow-Brown, <https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/cargo-liquefaction-is-largest-cause-of-deaths-in-dry-bulk-sector-according-to-report/>

⁴⁵ The Problem of Cargo Liquefaction in the Maritime Industry, Kimon Zografakis

kad mu je ostalo za ukrcati još nešto više od 7000 tona tereta. Istragom je utvrđeno da se brod probio.⁴⁶

Panamski teretni brod Harita potonuo je kod rta Bolinao 17. veljače 2013. dok je prevezio 47450 tona rudače nikla iz Indonezije za Kinu. Službeno navedeno, brod je potonuo nakon što se teret likvificirao i time uzrokovao valjanje, a tome su također pridonijeli loši vremenski uvjeti. Ubrzo nakon toga došlo je do kvara na motoru i brod se u konačnici prevrnuo. Spašeno je 10 članova posade, a živote su izgubili njih petnaestoro.⁴⁷

U ovom poglavlju prikazano je kako likvifikacija može biti kobna za ljudske živote, brod i teret. Na konkretnim primjerima nezgoda prikazano je i koji propusti mogu dovesti do likvifikacije. U nastavku rada su prikazane mjere sprječavanja likvifikacije te je naglašeno na što je sve potrebno obratiti pažnju kako bi se likvifikacija izbjegla.

7. SPRJEČAVANJE LIKVIFIKACIJE

Fenomen likvifikacije se može spriječiti testiranjima i ispitivanjima tereta, odnosno količine vlage u teretu, kojim ćemo potvrditi da teret nije podoban za prijevoz morem. TML testiranje se provodi unutar šest mjeseci prije ukrcaja homogenog tereta kod kojeg se ne očekuju promjene u fizičkim karakteristikama. Testiranje količine vlage u teretu se obavlja unutar sedam dana prije predviđenog ukrcaja. Ovi rokovi su obavezni i moraju se strogo poštovati. Ako je u međuvremenu padala kiša, potrebno je ponovno ispitati teret. IMSBC Kodeks detaljno opisuje niz testova za dobivanje prethodno spomenute vrijednosti FMP iz koje se, kao postotak, izračunava TML. U određenim zemljama nedostaju kvalificirani inspektori i neovisni laboratoriji, što predstavlja problem kod ispitivanja tereta. U nastavku su navedene procedure koje se moraju poštivati kako bi se likvifikacija spriječila.⁴⁸

7.1. PROCEDURE PRIJE UKRCAJA

Važno je da zapovjednik broda ne prihvaća terete koji su skloni likvifikaciji, a ne posjeduju odgovarajuću dokumentaciju koja potvrđuje da je sadržaj vlage tereta manji od vrijednosti TML. Prije početka ukrcaja, zapovjednik treba provjeriti da su skladišta tereta čista i suha te

⁴⁶ Ibid

⁴⁷ Ibid

⁴⁸ The North of England P&I Association, Bulk Cargo Liquefaction and Dynamic Separation

da su kaljuže testirane i da su grotla ispravna i vodonepropusna. Otpremnik treba unaprijed dostaviti zapovjedniku informacije o teretu prema zahtjevima IMSBC Kodeksa, zajedno sa izjavom otpremnika. Na temelju tih informacija, zapovjednik treba procijeniti može li se teret sigurno krcati i prevoziti brodom ili je potrebna dodatna dokumentacija. Otpremnik također treba pružiti zapovjedniku potpisani certifikat TML i certifikat o sadržaju vlage. Zapovjednik je dužan potvrditi da je laboratorijski test TML obavljen unutar šest mjeseci prije utovara i provjeriti je li testiranje sadržaja vlage provedeno što bliže vremenu samog utovara, kao što je prethodno spomenuto. Ako su tijekom toga razdoblja bile značajne padaline ili snijeg, potrebni su dodatni laboratorijski testovi kako bi se osiguralo da sadržaj vlage tereta i dalje ostaje ispod razine TML. Ako se sastav ili karakteristike tereta mijenjaju, test za određivanje TML vrijednosti potrebno je ponoviti. Odgovornost zapovjednika je osigurati siguran ukrcaj, a ako izjava otpremnika nije dostavljena, zapovjednik ne smije započeti ukrcaj i o tome odmah mora obavijestiti vlasnike broda.⁴⁹

7.2. PROCEDURE TIJEKOM UKRCAJA

Iako se prijevoz tereta Grupe A redovito obavlja bez incidenata, potencijalne posljedice ukrcanja tereta koji ima neprihvatljivu razinu vlage zahtijevaju da zapovjednik i posada budu na stalnom oprezu tijekom cijelog postupka ukrcanja. Ukrcaj bi trebao započeti tek kada otpremnik ispuni sve navedene zahtjeve i kada zapovjednik bude zadovoljan dostavljenim informacijama. Zapovjednik i vlasnici broda mogu razmotriti angažiranje iskusnog i neovisnog nadzornika tereta kako bi provjerio skladište na obali i, ako je potrebno, uzeo uzorke. Tijekom utovara zapovjednik treba omogućiti vizualni pregled tereta koji se ukrcava, obratiti pozornost na potencijalno prskanje mora na pregradama i nastaviti provoditi testiranja uz pomoću kantice kao što je opisano. Također treba paziti na atmosferske uvjete i ne obavljati ukrcaj tijekom padalina. Grotla svih neaktivnih skladišta moraju biti zatvorena. Ako se teret ukrcava s teglenica, treba osigurati da su teglenice adekvatno pokrivene i zaštićene od mora i padalina. Prije završetka ukrcanja treba se osigurati da je teret razmjerno poravnat i po završetku ukrcanja da su grotla zatvorena i propisno osigurana.⁵⁰

Kada se brod naginje, važno je pratiti nagib i parametre nagiba. Ako brod razvije trajni nagib ili se naginje asimetrično, to može značiti da je došlo do likvifikacije tereta. Posada mora biti

⁴⁹ Bureau Veritas - Marine & Offshore - Reducing the risk of liquefaction

⁵⁰ Ibid

upozorena i svjesna mogućih scenarija. Ako se potvrdi likvifikacija, posada mora biti spremna za napuštanje broda. Kurs treba prilagoditi kako bi se smanjio nagib broda. Procjena sigurnosti ostanka na brodu, kao i poduzimanje potrebnih mjera, trebaju biti u skladu sa sigurnosnim procedurama kompanije. Također potrebno je zatražiti podršku i savjet od stručnjaka s kopna o mogućim rješenjima za poboljšanje stanja u kojem se brod našao.⁵¹

7.3. PROCEDURE TIJEKOM PLOVIDBE

Tijekom plovidbe, kapetan i posada trebaju nastaviti s praćenjem stanja tereta, čak i ako su uvjereni u ispravnost tereta prilikom ukrcaja. Neke od preventivnih mjera za minimiziranje rizika od likvifikacije uključuju redoviti nadzor teretnih prostora kako bi se provjerilo ima li znakova nakupljanja slobodne vode u teretu. Iako ove inspekcije možda neće uvijek odražavati potpuno stanje tereta, mogu pružiti uvid u njegovo ponašanje od trenutka ukrcaja. Međutim, ove inspekcije treba obavljati samo ako je sigurno ući u teretne prostore jer mineralni tereti mogu smanjiti razinu kisika, što je opasno za posadu. Ako to nije već nije dio rutine, provjeravati teretne prostore i njihove kaljuže. Iako se očekuje da će voda slobodno otjecati, može se nakupljati na dnu skladišta i stvoriti mokri sloj. Ako je potrebno, provoditi ventilaciju tereta kada je to moguće, u skladu s uputama IMSBC Kodeksa. Kao što je već rečeno. Potrebno je pratiti gibanje broda, posebno period valjanja. Promjena u periodu valjanja može ukazivati na smanjenje stabilnosti. Ako zapovjednik ili brodar posumnjaju da se teret likvificirao odmah trebaju⁵²:

- Kontaktirati svoje osiguravatelje;
- Obavijestiti najbliže obalne vlasti;
- Razmotriti ulazak u najbližu luku ili sklonište;
- Razmotriti mjere za smanjenje vibracije i gibanja plovila.

7.4. ČVRSTOĆA TRUPA BRODA

Strukturna čvrstoća svakog skladišta tereta broda koji prevozi rudaču nikla sa vlagom većom od TML-a mora biti u skladu sa sljedećim zahtjevima⁵³:

⁵¹ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL

⁵² Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION

⁵³ The Problem of Cargo Liquefaction in the Maritime Industry, Kimon Zografakis

- Likvifikacija tereta mora biti uzeta u obzir prilikom procjene lokalne čvrstoće broda;
- Likvifikacija tereta pod teškim uvjetima opterećenja, koja utječe na čvrstoću i otpornost na savijanje (elastičnost) mora se uzeti u obzir prilikom određivanja opterećenja čvrstoće i elastičnosti brodskih skladišta koji prevoze rudaču nikla sa vlagom većom od TML.

U procjeni strukturne čvrstoće potrebno je istražiti samo scenarij potpune likvifikacije. U tom stanju pritisak na vertikalne granice skladišta tereta znatno se povećava. Prilikom izračuna pritiska tereta, pretpostavlja se da se teret ponaša kao tekućina, te se radi procjena čvrstoće i elastičnosti oplata. Izračuni i procjene čvrstoće i elastičnosti broskog trupa ne vrijede isto za brodove koji prevoze rasute terete (bez središnje pregrade) i za brodove koji prevoze rudače.⁵⁴

7.4.1. Brodovi (bez središnje pregrade) za prijevoz rasutog tereta

Istraživanja na konvencionalnim brodovima (bez središnje pregrade) za rasuti teret potvrđuju njihovu veliku osjetljivost u slučaju likvifikacije tereta. Učinak slobodne površine od likvificiranog tereta postaje vrlo kritičan za široka skladišta. Postavljanje uzdužnih pregrada kako bi se suzila skladišta jedini je izvediv način za postizanje dovoljne stabilnosti u slučaju likvifikacije. Nažalost, postoje nedostaci takvih pregrada. Najveći je taj da se volumen skladišta smanjuje, što brod čini manje pogodnim za prijevoz tereta niske gustoća. Osim toga povećava se težina čelika i troškovi gradnje. Konvencionalni brodovi za rasuti teret dizajnirani su za više vrsta tereta s različitim karakteristikama, poput gustoće i kuta prirodnog priklona tereta (engl. *angle of repose*). Moderni brodovi za rasuti teret također su dizajnirani da izdrže slučajno plavljenje skladišta tereta. Visina punjenja tereta koji se može likvificirati često je prilično niska zbog relativno visoke gustoće.⁵⁵

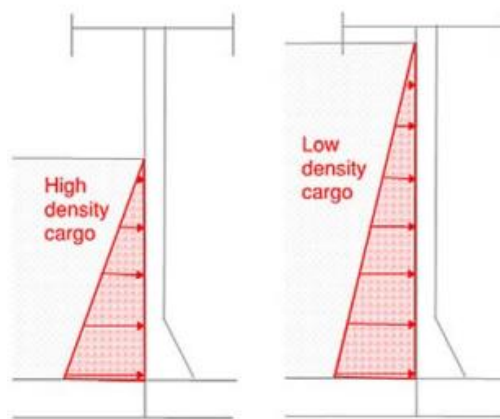
7.4.2. Brodovi za prijevoz rudače

Kod brodova za prijevoz rudače situacije je nešto drukčija. Takvi brodovi su obično opremljeni uzdužnim pregradama i njihova maksimalna širina skladišta u odnosu na širinu broda niska je u usporedbi sa konvencionalnim brodovima za rasuti teret. Zbog visoke razine punjenja skladišta, trup može zahtijevati značajno ojačanje kako bi udovoljio kriterijima čvrstoće trupa

⁵⁴ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL

⁵⁵ Ibid

za likvifikaciju tereta. Bočno opterećenje je znatno veće na ukrutama uzdužnih pregrada, što znači da će im dimenzije morati biti povećane. Poprečne veze bit će izložene većim kompresivnim silama i potrebna je velika čvrstoća, odnosno elastičnost. Ako je brod dizajniran za homogena opterećenja, struktura treba biti provjerena za najgore uvjete što u ovom slučaju uključuje likvifikaciju u jednom skladištu i izostanak likvifikacije u susjednom skladištu. U tom scenariju, pritisak od likvifikacije tereta će samo djelomično biti nadoknađen pritiskom tereta iz susjednog skladišta. Toga efekta neće biti ukoliko je brod ukrcava teret u više luka, ili kada se teret krca nejednako. Razina do koje se teret krca je vrlo važna, posebno za neravne, valovite pregrade (engl. *corrugations*). Za terete niske gustoće visina krcanja je veća, što znači da će ukupna sila na takve pregrade biti veća. Središte pritiska je također nepovoljno kad se razmatra savijanje neravnih pregrada. Na Slici 10. ilustriran je efekt krcanja tereta visoke i tereta niske gustoće.⁵⁶



Slika 10. Krcanje tereta visoke i tereta niske gustoće.

Izvor: Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL.

8. ZAKLJUČAK

Na kraju, može se zaključiti da likvifikacija predstavlja ozbiljnu prijetnju za sigurnost brodova, njihove posade, ali i okoliša. Rad je obuhvatio analizu tereta koji su skloni likvifikaciji, razlikovao jedne od drugih i posebno naglasio ulogu sadržaja vlage u njima. „Can test“ je

⁵⁶ Ibid

dokazao kako vibracije broda, djeluju na takav teret, te su navedeni pojmovi poput FMP i TML vrijednosti, te je istaknuta njihova važnost.

Navedene nezgode koje su prouzrokovane likvifikacijom tereta jasno ukazuju na potrebu za strožim pridržavanjem međunarodnih propisa, redovitim laboratorijskim ispitivanjima tereta, naročito u slabije razvijenim lukama. Posebno je obrađen problem prijevoza niklove rudače, zbog njezinih specifičnih karakteristika, ali i ostalih rudača poput željeza i boksita.

Rad također naglašava koliko je važna edukacija posade, odnosno primjena preventivnih mjera i suradnja s nadležnim tijelima, kako bi se osigurala maksimalna sigurnost tijekom prijevoza tereta sklonog likvifikaciji kako bi se potencijalne nezgode minimizirale.

POPIS LITERATURE

- ¹ Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION
- ² IMSBC Code
- ³ Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION
- ⁴ INTERCARGO - *Bulk Carrier Casualty Report*
- ⁵ Ibid
- ⁶ Pomorski leksikon (1990), mrežno izdanje
- ⁷ HandyBulk - <https://www.handybulk.com/bulk-cargo-shipping/>
- ⁸ Biočić Tonći, Izazovi upravljanja lukama za suhe rasute terete u 21. stoljeću (diplomski rad)
- ⁹ Međunarodni pomorski kodeks za krute rasute terete (IMSBC Code).
- ¹⁰ International Convention for Safety of Life at Sea (SOLAS)
- ¹¹ Logistische Informationssysteme - <https://www.lis.eu/en/lexikon/bulk-cargo/>
- ¹² Biočić Tonći, Izazovi u lukama za suhe rasute terete u 21. stoljeću (diplomski rad)
- ¹³ Naval Encyclopedia: The Bulk Carriers, <https://naval-encyclopedia.com/civ/bulk-carriers.php>
- ¹⁴ Stig Tenold, Bigger and Bigger: Shipping During the Golden Age, 1950–73
- ¹⁵ Štefanić Ema, Tehnologija prijevoza rasutih tereta morem (završni rad)
- ¹⁶ Marine Insight - <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-bulk-carriers/>
- ¹⁷ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/size-range.html>
- ¹⁸ A. Kristić i M. Randić: Prijevoz krutih rasutih tereta morem koji su skloni likvifikaciji
- ¹⁹ Ibid
- ²⁰ The Maritime Executive - <https://maritime-executive.com/editorials/the-risk-of-cargo-liquefaction>
- ²¹ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL
- ²² Ibid
- ²³ Ibid
- ²⁴ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/Testing-of-Cargo.html>
- ²⁵ The North of England P&I Association, Bulk Cargo Liquefaction - The Can Test
- ²⁶ Ibid
- ²⁷ Ibid
- ²⁸ Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION
- ²⁹ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL
- ³⁰ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/iron-ore.html>

- ³¹ Bulk Carrier Guide - <https://bulkcarrierguide.com/bauxite-loading.html>
- ³² Ibid
- ³³ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL
- ³⁴ Ibid
- ³⁵ TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Volume 16 – Number 1
- ³⁶ Uwe König, Nickel Laterites - Mineralogical Monitoring for Grade Definition and Process Optimization
- ³⁷ Standard Club - Guidelines for the safe carriage of Nickel Ore
- ³⁸ The North of England P&I Association, Bulk Cargo Liquefaction and Dynamic Separation
- ³⁹ SKULD – <https://www.skuld.com/topics/cargo/solid-bulk/cargo-liquefaction/best-practices-and-safety-considerations-for-nickel-ore-shipments/>
- ⁴⁰ SKULD – <https://www.skuld.com/topics/cargo/solid-bulk/cargo-liquefaction/best-practices-and-safety-considerations-for-nickel-ore-shipments/>
- ⁴¹ INTERCARGO - Bulk Carrier Casualty Report
- ⁴² The Royal Institution of Naval Architects - <https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/cargo-liquefaction-is-largest-cause-of-deaths-in-dry-bulk-sector-according-to-report/>
- ⁴³ West of England P&I Club — IMSBC Code: International Maritime Solid Bulk Cargoes
- ⁴⁴ The Naval Architect by Tom Barlow-Brown, <https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/cargo-liquefaction-is-largest-cause-of-deaths-in-dry-bulk-sector-according-to-report/>
- ⁴⁵ The Problem of Cargo Liquefaction in the Maritime Industry, Kimon Zografakis
- ⁴⁶ Ibid
- ⁴⁷ Ibid
- ⁴⁸ The North of England P&I Association, Bulk Cargo Liquefaction and Dynamic Separation
- ⁴⁹ Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION
- ⁵⁰ Ibid
- ⁵¹ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL
- ⁵² Bureau Veritas - Marine & Offshore - REDUCING THE RISK OF LIQUEFACTION
- ⁵³ The Problem of Cargo Liquefaction in the Maritime Industry, Kimon Zografakis
- ⁵⁴ Bulk Cargo Liquefaction – DNV GL

⁵⁵ Ibid

⁵⁶ Ibid

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Poprečni i uzdužni presjek "bulkera" sa pet skladišta. | 5 |
| Slika 2. Utjecaj likvifikacije tereta na stabilnost broda. | 8 |
| Slika 3. Krcanje rudače nikla u skladište. | 15 |
| Slika 4. Rudača nikla nakon likvifikacije. | 15 |
| Slika 5. Izvještaj o nezgodi broda Harita Bauxite..... | 18 |
| Slika 6. Izvještaj o nezgodi broda Bulk Jupiter. | 18 |
| Slika 7. Izvještaj o nezgodi broda Emerald Star. | 18 |
| Slika 8. Izvještaj o nezgodi broda Nur Allya..... | 18 |
| Slika 9. Temeljni uzročnici neugoda brodova za rasute terete od 2013. do 2022. godine. | 19 |
| Slika 10. Krcanje tereta visoke i tereta niske gustoće..... | 25 |